

Office de la Recherche Scientifique
et Technique Outre-Mer

Société d'Énergie de MADAGASCAR

INSTITUT DE RECHERCHES SCIENTIFIQUES
à MADAGASCAR

MONOGRAPHIE HYDROLOGIQUE de l'IKOPA et de la BETSIBOKA

C - Interprétation des Résultats et Caractéristiques du Régime

Marcel ROCHE
Ingénieur Hydrologue à l'E.D.F.

par

Marius ALDEGHERI
et
Maître de Recherches de l'O.R.S.T.O.M.

D8
IKO

AVRIL 1964

307

OFFICE de la RECHERCHE SCIENTIFIQUE
et TECHNIQUE OUTRE-MER

SOCIETE d'ENERGIE
de MADAGASCAR

Institut de Recherches Scientifiques
à MADAGASCAR

MONOGRAPHIE HYDROLOGIQUE
de l'IKOPA et de la BETSIBOKA

C - Interprétation des résultats et caractéristiques
du régime

par

Marcel ROCHE
Ingénieur Hydrologue
de l'EDF

et

Marius ALDEGHERI
Maître de Recherches
de l'ORSTOM

1964

D8
1K0

1964

8970

S O M M A I R E

	<u>Page</u>
<u>INTRODUCTION</u>	1
<u>CHAPITRE I - DEBITS MOYENS MENSUELS et MODULES</u>	3
I - <u>PLUIES MOYENNES MENSUELLES sur les DIFFERENTS BASSINS</u>	3
II - <u>ETUDE des DEBITS MENSUELS de l'IKOPA à ANTSATRANA</u>	12
III - <u>ETUDE des MODULES</u>	26
1 - IKOPA à BEVOMANGA	26
2 - IKOPA à FIADANANA	28
3 - IKOPA à ANTSATRANA	29
4 - BETSIBOKA à AMBODIROKA	32
<u>CHAPITRE II - ETIAGE et BASSES EAUX</u>	35
I - <u>ETUDE du TARISSEMENT</u>	35
II - <u>ETUDE STATISTIQUE des ETIAGES ABSOLUS</u>	37
III - <u>ETUDE STATISTIQUE des BASSES EAUX</u>	40
<u>CHAPITRE III - ETUDE des CRUES</u>	43
<u>CHAPITRE IV - DEFICITS et COEFFICIENTS d'ECOULEMENT</u>	50
<u>CHAPITRE V - RESULTATS des BASSINS EXPERIMENTAUX</u>	57
I - <u>CARACTERISTIQUES des CRUES</u>	57
1°) Bassin amont (1,64 km ²)	57
2°) Bassin aval (4,08 km ²)	61

	<u>Page</u>
II - <u>ESTIMATION des CRUES DECENNALES</u>	62
III - <u>DEBITS JOURNALIERS et APPORTS MENSUELS</u>	64
<u>CHAPITRE VI - TRANSPORTS SOLIDES</u>	72
I - <u>GENERALITES</u>	72
II - <u>MODE OPERATOIRE</u>	73
III - <u>TURBIDITE</u>	74
1) Mesures effectuées en 1955-56 BETSIBOKA à AMBODIROKA IKOPA à AMPOTAKA	74
2) Mesures effectuées en 1960-61	75
a) BETSIBOKA à AMBODIROKA	75
b) IKOPA à ANTSATRANA	78
c) ISINKO à AMBODIROKA	79
3) Analyse chimique des eaux	83
IV - <u>GRANULOMETRIE du SABLE</u>	84
<u>CHAPITRE VII - CARACTERISTIQUES du REGIME</u>	85

Le premier volume de cette monographie avait pour but de décrire au lecteur le milieu physique dans lequel évoluent les phénomènes hydrologiques et d'exposer qualitativement et quantitativement les facteurs qui leur donnent naissance ou qui influent sur leur évolution. Tout particulièrement, c'était une description du facteur pluviométrique, source primaire des débits, et du "bassin versant" dans toute sa variété naturelle, organe de transformation d'une fonction pluie en une fonction débit, essence même du régime hydrologique.

Le second volume exposait la manière dont l'équipement hydrologique du bassin a été conçu afin de mesurer les conséquences hydrologiques du phénomène de la pluie, ainsi que les données brutes ou semi-élaborées issues des techniques hydrométriques mises en oeuvre.

Dans ce troisième volume, nous nous proposons, dans la mesure du possible, de dégager les lois de transformation permettant de passer des pluies aux débits et, par là même, d'étendre les données directes relatives à ces débits par la prise en considération des résultats obtenus dans le domaine des pluies sur de plus longues périodes. En réalité, comme nous le verrons, il ne s'agira pas de lois physiques, pratiquement impossibles à atteindre à travers l'enchevêtrement des facteurs conditionnels, mais de modèles statistiques essayant de traiter au mieux les données d'observations disponibles. Ces extensions permettront de préciser en toute connaissance de cause les paramètres caractéristiques du régime hydrologique.

D'autre part, lorsque l'estimation ne sera pas possible, un minimum de raisonnement statistique, souvent qualitatif, permettra de se faire une idée sur la validité des renseignements fournis par l'observation directe, sur les fréquences qui peuvent être imputées à telle ou telle valeur d'un paramètre hydrologique et sur quelle sorte de confiance on peut attribuer à ces fréquences ou ces valeurs.

Les paramètres hydrologiques qui peuvent être définis sont très nombreux et leur choix dépend en grande partie du problème particulier à traiter. Dans une monographie, on ne peut évoquer toutes les faces du problème et on doit se limiter, mais de telle manière qu'aucun aspect essentiel du régime ne soit négligé et que les résultats réunis puissent servir de point de départ pour telle application pratique qu'il plaira d'envisager.

Nous avons également présenté dans ce volume les résultats des études de transports solides. Les mesures n'ont pas donné lieu à des relevés systématiques comme pour les débits. Il est cependant possible d'en tirer quelques conclusions d'autant plus intéressantes que les données quantitatives sûres sur les transports solides à MADAGASCAR sont plus rares. Enfin, à la fin de ce volume, toutes les données estimées sont rassemblées pour les stations de jaugeages et pour le site du barrage de MAHAVOLA.

CHAPITRE 1

DEBITS MOYENS MENSUELS et MODULES

Le but de ce chapitre est de préciser les valeurs à admettre pour les modules moyens interannuels et leurs caractéristiques de dispersion (irrégularité interannuelle). On dispose pour cela des relevés hydrométriques consignés dans le second volume de cette monographie et des pluies observées dans les bassins de l'IKOPA et de la BETSIBOKA.

La première phase de l'étude est l'établissement de corrélations hydropluviométriques, c'est-à-dire de relations présentant un certain aspect aléatoire (dites "stochastiques") entre les pluies et les débits. Lorsque l'échantillon des débits observés est d'une taille suffisante, il est possible d'établir valablement des régressions à l'échelle mensuelle, ce qui présente l'avantage d'exploiter toute l'information. Dans le cas présent, cette étude est possible pour les stations de BEVOMANGA et d'ANTSATRANA sur l'IKOPA. Cependant, l'étude de l'IKOPA supérieur n'étant pas dans notre propos, on se contentera d'une reconstitution des débits mensuels à ANTSATRANA. Les autres stations, dont BEVOMANGA, feront l'objet d'une étude simplifiée portant uniquement sur les modules. Signalons, cependant, que l'information sur l'ISINKO n'est pas encore suffisante pour aborder une étude de ce type.

1 - PLUIES MOYENNES MENSUELLES sur les DIFFERENTS BASSINS -

Le calcul des pluies moyennes mensuelles a été effectué pour tous les bassins actuellement contrôlés par une station hydrométrique, sauf l'ISINKO pour lequel on ne dispose pas de données suffisantes. Même si toute l'information donnée ci-dessous n'est pas immédiatement exploitable, nous pensons qu'il était bon de la réunir en vue d'études ultérieures.

Toutes les stations utilisées pour le calcul des indices pluviométriques moyens ont une période d'observation débutant au plus tard à l'année hydrologique 1938-1939. Nous rappelons que l'année hydrologique a été choisie entre le 1er Novembre et le 31 Octobre de l'année suivante. L'étude de l'homogénéisation des données pluviométriques montre qu'il n'était pas d'un très grand intérêt d'utiliser les années antérieures. Les lacunes existant dans les différents relevés entre 1938-39 et 1961-62 ont été comblées par corrélations entre postes. Ces corrélations s'expriment approximativement par les régressions suivantes :

MAHATSINJO	= 1,10	FENOARIVO	Ouest
MAEVATANANA	=	ANDRIBA	
KANDREHO	= 0,85	ANDRIBA	
ANDRIAMENA	= 0,75	ANDRIBA	
AMBOHIMANJAKA	= 1,40	ANJOZOROBE	
MIANTSO	= 1,05	MAHITSY	
MAHITSY	= 0,95	MIANTSO	
KIANGARA	= 0,87	ANKAZOBE	
ANKAZOBE	= 1,15	KIANGARA	

Telles sont les relations que nous avons eu à utiliser.

Pour le bassin de l'IKOPA à BEVOMANGA, les postes utilisés sont :

AMBOHIDRATRIMO
AMBOHIDRABIBY
TANANARIVE
AMBATOLOANA
IMERINTSIATOSIKA
ANTANAMALAZA
MANTASOA

MIANTSOARIVO
BEHENJY
ANDRAMASINA
AMBOHIMIADANA
AMBONDRONA

Le nombre de ces stations est suffisant, et leur répartition suffisamment homogène, pour qu'on puisse se contenter d'une simple moyenne arithmétique dans le calcul de P_B , indice pluviométrique mensuel. Pour les mêmes raisons, cet indice peut être considéré comme suffisamment voisin de la moyenne pluviométrique réelle pour qu'une opération de bilan soit possible.

Les valeurs de P_B sont données sur le tableau I.

La pluviométrie moyenne sur le bassin intermédiaire de l'IKOPA entre BEVOMANGA et FIADANANA (P_{iF}) est calculée d'après les stations suivantes pondérées par la méthode de THIESSEN ; les coefficients de pondération sont indiqués en regard du nom des stations :

ANKAZOBE	0,31
KIANGARA	0,04
FENOARIVO	0,07
MIANTSO	0,30
MAHITSY	0,11
ARIVONIMAMO	0,17

Les valeurs trouvées pour P_{iF} sont données dans le tableau II.

La pluviométrie moyenne sur le bassin intermédiaire de l'IKOPA entre FIADANANA et ANTSATRANA (P_{iA}) est calculée d'après les stations suivantes pondérées par la méthode de THIESSEN ; les coefficients de pondération sont indiqués en regard du nom des stations :

ANDRIBA	0,23
KANDREHO	0,06
FENOARIVO	0,38
MAHATSINJO	0,04
ANKAZOBE	0,01
KIANGARA	0,28

Les valeurs trouvées pour P_{iA} sont données dans le tableau III.

La pluie moyenne P_F sur le bassin total de l'IKOPA, contrôlé par la station de FIADANANA, est calculée par la formule suivante qui tient compte des superficies respectives du bassin à BEVOMANGA et du bassin intermédiaire entre BEVOMANGA et FIADANANA :

$$P_F = 0,45 P_B + 0,55 P_{iF}$$

Les valeurs trouvées pour P_F sont données dans le tableau IV.

La pluie moyenne P_A sur le bassin total de l'IKOPA, contrôlé par la station d'ANTSATRANA, est calculée par la formule suivante qui tient compte des superficies respectives du bassin à FIADANANA et du bassin intermédiaire entre FIADANANA et ANTSATRANA :

$$P_A = 0,51 P_F + 0,49 P_{iA}$$

Les valeurs trouvées pour P_A figurent dans le tableau V.

Enfin, la pluie moyenne sur le bassin de la BETSIBOKA à AMBODIROKA est calculée par la moyenne arithmétique des stations suivantes, pondérées par la méthode THIESSEN ; les coefficients de pondération figurent en regard du nom des stations :

TABLEAU I

PLUIES MOYENNES MENSUELLES et ANNUELLES sur le BASSIN
de l'IKOPA à BEVOMANGA

(Symbole P_B, pluies en mm)

Années	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	Total
1938-39	178	197	324	347	362	29	18	14	24	16	31	56	1596
1939-40	213	552	245	226	165	96	14	7	19	37	17	76	1667
1940-41	98	458	308	459	276	23	19	22	23	27	19	96	1828
1941-42	87	156	305	292	97	37	15	11	21	24	23	85	1153
1942-43	203	233	407	179	188	87	5	11	11	7	12	16	1359
1943-44	1	298	110	241	229	81	22	21	53	4	12	88	1160
1944-45	156	304	189	285	167	103	12	1	11	9	9	66	1312
1945-46	96	188	201	372	189	28	25	12	15	28	15	81	1250
1946-47	268	261	324	190	240	53	24	14	8	18	6	46	1452
1947-48	72	194	607	292	118	72	36	20	25	8	24	99	1567
1948-49	140	129	100	255	319	27	45	22	26	7	3	12	1085
1949-50	155	116	338	210	212	23	10	10	21	11	8	60	1174
1950-51	197	210	382	159	226	44	16	17	9	25	6	36	1326
1951-52	205	198	437	178	205	51	66	25	5	25	27	10	1432
1952-53	203	246	137	171	383	39	18	28	12	30	35	23	1325
1953-54	112	230	283	119	181	23	14	10	8	4	10	8	1002
1954-55	191	324	293	131	274	18	22	12	13	17	5	47	1347
1955-56	118	382	394	235	89	85	14	5	32	6	10	4	1374
1956-57	181	288	126	303	440	76	16	6	10	9	18	31	1504
1957-58	98	256	321	177	175	26	10	25	34	45	87	99	1364
1958-59	89	376	274	246	556	19	8	12	25	6	8	14	1633
1959-60	193	200	327	151	199	24	7	11	5	5	6	29	1157
1960-61	82	306	337	80	318	101	9	4	43	19	9	39	1347
1961-62	165	356	140	198	236	27	42	7	7	18	-	-	(1220)

TABLEAU II

PLUIES MOYENNES MENSUELLES et ANNUELLES sur le BASSIN
de l'IKOPA entre BEVOIANGA et FIADANANA

(Symbole P_{iF} , pluies en mm)

Années	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	Total
1938-39	136	292	448	291	382	81	10	2	25	5	30	61	1763
1939-40	279	499	253	240	129	58	0	1	0	21	7	99	1586
1940-41	96	495	408	433	247	8	4	19	22	17	19	79	1847
1941-42	77	213	356	382	117	41	2	11	4	3	23	71	1300
1942-43	196	273	536	214	187	90	0	0	1	0	0	39	1537
1943-44	43	245	190	250	314	84	8	11	2	0	3	85	1235
1944-45	72	286	289	281	263	104	7	0	0	2	4	96	1404
1945-46	83	175	379	363	294	20	10	3	0	20	1	120	1468
1946-47	294	220	399	223	210	86	24	1	0	21	0	72	1550
1947-48	103	276	446	315	135	71	19	20	6	0	32	79	1502
1948-49	124	164	82	390	239	19	54	1	14	2	13	44	1146
1949-50	141	191	413	136	272	17	24	5	0	7	1	43	1250
1950-51	231	273	449	144	312	58	23	8	5	39	0	39	1581
1951-52	247	197	391	323	262	38	41	1	2	2	17	20	1541
1952-53	175	220	209	252	448	29	2	3	6	5	8	24	1381
1953-54	74	279	333	229	173	20	6	4	1	1	12	31	1163
1954-55	160	271	331	317	400	17	6	0	2	12	0	39	1555
1955-56	98	361	199	184	98	73	3	1	31	0	14	14	1076
1956-57	140	467	183	363	455	51	11	0	9	1	2	42	1724
1957-58	116	278	395	207	193	45	4	3	20	16	95	113	1485
1958-59	117	581	456	246	437	45	6	13	4	2	9	11	1927
1959-60	320	303	425	274	314	37	2	1	3	3	3	22	1707
1960-61	67	438	360	78	273	159	7	2	8	2	1	27	1422
1961-62	131	465	254	261	244	54	40	0	0	10			(1490)

TABLEAU III

PLUIES MOYENNES MENSUELLES et ANNUELLES sur le BASSIN
de l'IKOPA entre FIADANANA et ANTSATRANA

(Symbole P_{iA}, pluies en mm)

:Années :	N :	D :	J :	F :	M :	A :	M :	J :	J :	A :	S :	O :	Total :
:1938-39:	140:	307:	617:	344:	493:	88:	3:	10:	16:	2:	20:	46:	2076:
:1939-40:	250:	352:	353:	359:	217:	54:	4:	1:	1:	8:	5:	91:	1695:
:1940-41:	111:	318:	741:	334:	359:	47:	2:	9:	16:	9:	18:	117:	2081:
:1941-42:	122:	260:	477:	322:	203:	68:	7:	9:	0:	12:	10:	84:	1564:
:1942-43:	132:	360:	750:	317:	280:	106:	2:	0:	2:	0:	7:	57:	2013:
:1943-44:	70:	285:	238:	423:	458:	92:	6:	6:	0:	0:	1:	68:	1647:
:1944-45:	73:	479:	296:	371:	329:	48:	25:	0:	0:	5:	7:	91:	1724:
:1945-46:	94:	264:	522:	397:	400:	62:	13:	1:	3:	19:	0:	113:	1888:
:1946-47:	467:	250:	224:	436:	351:	142:	23:	4:	0:	1:	4:	95:	1997:
:1947-48:	123:	357:	458:	308:	248:	104:	41:	20:	8:	0:	38:	79:	1784:
:1948-49:	137:	210:	117:	547:	290:	35:	48:	3:	8:	0:	21:	96:	1512:
:1949-50:	154:	210:	456:	145:	235:	31:	18:	0:	0:	13:	7:	39:	1308:
:1950-51:	133:	319:	574:	154:	396:	50:	51:	9:	5:	14:	3:	91:	1799:
:1951-52:	209:	241:	407:	364:	251:	90:	41:	0:	0:	2:	9:	19:	1633:
:1952-53:	219:	269:	376:	326:	294:	46:	11:	10:	1:	1:	2:	20:	1575:
:1953-54:	122:	409:	424:	322:	224:	20:	8:	3:	0:	0:	2:	49:	1583:
:1954-55:	152:	377:	372:	561:	510:	29:	6:	0:	0:	15:	2:	53:	2077:
:1955-56:	120:	370:	376:	263:	134:	129:	8:	3:	21:	0:	9:	53:	1486:
:1956-57:	194:	393:	270:	391:	434:	49:	9:	0:	3:	2:	14:	65:	1824:
:1957-58:	135:	247:	492:	287:	288:	49:	12:	6:	3:	17:	85:	85:	1706:
:1958-59:	98:	393:	417:	242:	426:	40:	0:	1:	3:	6:	22:	9:	1657:
:1959-60:	259:	230:	401:	253:	258:	23:	1:	0:	10:	8:	11:	22:	1476:
:1960-61:	118:	460:	343:	178:	280:	137:	3:	9:	12:	5:	4:	20:	1569:
:1961-62:	178:	560:	491:	315:	381:	70:	25:	0:	0:	25:	:	:	2010:

TABLEAU IV

PLUIES MOYENNES MENSUELLES et ANNUELLES sur le BASSIN
de l'IKOPA à FIADANANA

(Symbole P_F, pluies en mm)

Années	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	Total
1938-39	154	249	392	316	373	58	14	7	25	10	30	59	1687
1939-40	249	523	249	234	145	75	6	4	9	28	12	89	1623
1940-41	97	478	363	445	260	15	11	20	22	22	19	87	1839
1941-42	82	187	333	342	108	39	8	11	12	12	23	77	1234
1942-43	199	255	478	198	187	89	2	5	6	3	6	29	1457
1943-44	24	269	154	246	276	83	14	16	25	2	7	86	1202
1944-45	110	294	244	283	220	104	9	0	5	5	6	83	1363
1945-46	89	181	299	367	247	24	17	7	7	24	7	102	1371
1946-47	282	238	365	208	224	71	24	7	4	20	3	60	1506
1947-48	89	239	518	305	127	71	27	20	15	4	12	88	1515
1948-49	131	148	90	329	275	23	50	10	19	4	9	30	1118
1949-50	147	157	379	169	245	20	18	7	9	9	4	51	1215
1950-51	216	250	419	151	273	52	20	12	7	33	3	38	1474
1951-52	228	197	412	258	236	44	52	12	3	12	22	16	1492
1952-53	188	232	177	216	419	34	9	14	6	16	20	24	1355
1953-54	91	257	311	180	177	21	10	7	4	2	11	21	1092
1954-55	174	295	314	233	343	17	13	5	7	14	2	43	1460
1955-56	107	370	287	207	94	78	8	3	31	3	12	10	1210
1956-57	158	386	157	336	448	62	13	3	9	5	9	37	1623
1957-58	108	268	362	194	185	36	7	13	26	29	91	107	1427
1958-59	104	489	374	246	491	33	7	13	13	4	9	12	1795
1959-60	263	257	381	219	263	31	4	6	4	4	4	25	1461
1960-61	74	379	350	79	321	133	8	3	24	10	5	32	1418
1961-62	146	416	203	233	240	42	41	3	3	14			(1400)

TABLEAU V

PLUIES MOYENNES MENSUELLES et ANNUELLES sur le BASSIN
de l'IKOPA à ANTSATRANA

(Symbole P_A , pluies en mm)

:Années	: N	: D	: J	: F	: M	: A	: M	: J	: J	: A	: S	: O	:Total
:1938-39	:147	:277	:502	:330	:432	: 73	: 9	: 4	: 21	: 6	: 25	: 53	:1879
:1939-40	:249	:439	:300	:295	:180	: 65	: 5	: 3	: 5	: 18	: 9	: 90	:1658
:1940-41	:104	:400	:548	:391	:309	: 31	: 7	: 15	: 19	: 16	: 19	:102	:1961
:1941-42	:102	:223	:407	:332	:155	: 53	: 8	: 10	: 6	: 12	: 17	: 80	:1405
:1942-43	:166	:306	:611	:256	:233	: 97	: 2	: 3	: 4	: 2	: 6	: 43	:1729
:1943-44	: 47	:277	:195	:333	:365	: 87	: 10	: 11	: 13	: 1	: 4	: 77	:1420
:1944-45	: 92	:385	:269	:326	:273	: 77	: 17	: 0	: 3	: 5	: 6	: 87	:1540
:1945-46	: 91	:222	:408	:382	:322	: 43	: 15	: 4	: 5	: 22	: 4	:107	:1625
:1946-47	:373	:244	:296	:320	:286	:106	: 24	: 6	: 2	: 11	: 4	: 77	:1749
:1947-48	:106	:297	:489	:306	:186	: 87	: 34	: 20	: 12	: 2	: 24	: 84	:1647
:1948-49	:134	:178	:103	:436	:282	: 29	: 49	: 7	: 14	: 2	: 15	: 62	:1311
:1949-50	:150	:183	:417	:157	:240	: 25	: 18	: 4	: 5	: 11	: 5	: 45	:1240
:1950-51	:175	:284	:495	:152	:333	: 51	: 35	: 11	: 6	: 24	: 3	: 64	:1633
:1951-52	:219	:219	:410	:310	:243	: 67	: 47	: 6	: 2	: 7	: 16	: 17	:1563
:1952-53	:203	:250	:275	:270	:358	: 40	: 10	: 12	: 4	: 9	: 11	: 22	:1464
:1953-54	:106	:331	:366	:250	:200	: 21	: 9	: 5	: 2	: 1	: 6	: 35	:1332
:1954-55	:163	:335	:342	:394	:425	: 23	: 10	: 3	: 4	: 14	: 2	: 48	:1763
:1955-56	:113	:370	:331	:234	:114	:103	: 8	: 3	: 26	: 2	: 11	: 31	:1346
:1956-57	:176	:389	:212	:363	:441	: 56	: 11	: 2	: 6	: 4	: 11	: 51	:1722
:1957-58	:121	:258	:426	:240	:235	: 42	: 9	: 10	: 15	: 23	: 88	: 96	:1563
:1958-59	:101	:442	:395	:244	:459	: 36	: 4	: 7	: 8	: 5	: 15	: 11	:1727
:1949-60	:261	:244	:391	:236	:261	: 27	: 3	: 3	: 7	: 6	: 7	: 24	:1470
:1960-61	: 96	:419	:347	:128	:301	:135	: 6	: 6	: 18	: 8	: 5	: 26	:1495
:1961-62	:162	:487	:344	:273	:309	: 56	: 33	: 2	: 2	: 14	:	:	:1700

MAEVATANANA	0,11
ANDRIBA	0,06
MAHATSINJO	0,06
ANDRIAMENA	0,20
KIANGARA	0,08
ANKAZOBE	0,10
ANJOZOROBE	0,27
MAHITSY	0,04
AMBOHIDRABIBY	0,08

Les valeurs trouvées figurent sur le tableau VI.

Etant donné le nombre assez important des pluviomètres utilisés pour le calcul de ces différents indices pluviométriques, on peut penser que ceux-ci sont assez proches des véritables pluviométries moyennes correspondantes pour qu'une opération de bilan puisse être valablement engagée. Rappelons à ce sujet qu'un indice pluviométrique calculé de la manière exposée plus haut peut très bien être représentatif de la pluie moyenne, c'est-à-dire lui être lié par une forte corrélation, mais être d'une grandeur suffisamment différente pour que l'établissement d'un bilan basé sur l'emploi d'un tel indice soit peu significatif. C'est pourquoi il était bon de donner les précisions ci-dessus.

II - ETUDE des DEBITS MENSUELS de l'IKOPA à ANTSATRANA -

La première phase de cette étude consiste à rechercher les régressions existant entre les débits moyens mensuels et les pluies mensuelles. Il apparaît immédiatement qu'il s'agit là d'un problème de régressions multiples. En effet, si le débit moyen d'un mois donné est partiellement fourni par la pluie tombée ce mois, il dépend également des précipitations des mois antérieurs de deux manières : par report différé d'un mois sur l'autre des volumes provenant du stockage des eaux dans le bassin, par action de la répartition des pluies sur le coefficient de ruissellement.

TABLEAU VI

PLUIES MOYENNES MENSUELLES et ANNUELLES sur le BASIN
de la BETSIBOKA à AMBODIROKA
 (pluies en mm)

Années	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	Total
1938-39	105	198	457	276	385	40	8	3	13	3	14	32	1534
1939-40	202	449	357	358	201	58	5	3	3	13	3	85	1737
1940-41	66	385	678	391	266	15	4	12	8	10	5	103	1943
1941-42	67	208	353	303	133	54	9	4	1	7	3	70	1212
1942-43	163	239	540	275	222	79	1	2	4	0	12	20	1557
1943-44	23	249	181	329	367	95	9	5	13	0	5	67	1343
1944-45	99	378	297	305	217	46	8	1	7	6	10	46	1420
1945-46	72	213	377	354	250	30	8	9	2	8	3	70	1396
1946-47	357	216	364	280	252	87	21	7	4	13	3	36	1640
1947-48	94	263	430	272	159	56	15	11	15	3	15	91	1404
1948-49	113	162	76	412	310	23	38	7	9	1	13	47	1211
1949-50	187	176	386	212	209	21	18	7	7	8	2	51	1284
1950-51	133	256	650	172	270	65	20	16	3	16	1	42	1644
1951-52	174	190	442	279	213	44	21	10	1	6	20	11	1411
1952-53	199	290	308	245	322	39	12	18	5	17	6	20	1481
1953-54	148	361	426	246	198	10	13	9	4	3	7	13	1438
1954-55	124	296	317	281	358	16	8	6	8	8	2	50	1474
1955-56	77	349	336	249	62	56	9	6	12	3	5	10	1174
1956-57	213	330	173	326	422	30	6	3	7	1	4	29	1544
1957-58	94	260	423	262	270	33	4	7	15	21	70	107	1566
1958-59	95	409	381	268	558	24	2	7	13	11	8	9	1785
1959-60	229	181	422	203	218	15	6	7	7	3	8	21	1320
1960-61	71	333	291	133	241	156	11	1	24	13	3	28	1305
1961-62	143	409	308	239	225	42	14	2	3	19			(1450)

Dans la présente étude, la recherche des corrélations multiples a été conduite par la méthode des résidus. Cette méthode consiste à représenter graphiquement le phénomène étudié en fonction de son facteur conditionnel principal, puis d'attribuer à un facteur secondaire les écarts à une courbe moyenne estimée (correction de 1er ordre) etc... L'important est de bien choisir les facteurs conditionnels à introduire et aussi la forme sous laquelle il convient de les introduire. En effet, la méthode sous-entend une loi de composition linéaire ; c'est-à-dire que, si l'on désigne par Q la mesure du phénomène étudié et par P_i un des facteurs conditionnels, on doit pouvoir écrire :

$$Q = \sum a_i f (P_i)$$

Or les pluies ne se composent pas toujours de façon linéaire pour donner leur part de débit. L'expérience montre que souvent, au coeur de la saison des pluies, la pluie P_i du mois i a sur le débit Q_{i+1} une influence qui dépend de la pluie P_{i+1} de ce dernier mois. Le facteur conditionnel représentant l'influence de P_i sur Q_{i+1} est donc une fonction $f (P_i, P_{i+1})$ qui doit contenir des termes de la forme $P_i^n \times P_{i+1}^m$, étant entendu que l'influence varie dans le même sens que P_{i+1} . Comme la recherche des valeurs de n et m et de la forme de f , outre la difficulté de calcul qu'elle représenterait, demanderait un échantillon considérable pour être significative, on se contentera d'une forme simple $P_i \times P_{i+1}$.

De même l'influence de P_{i-1} sur Q_i demande parfois à être introduite sous forme de composition cubique $P_{i-1} \times P_i \times P_{i+1}$.

Pour les basses eaux, nous avons déjà utilisé à plusieurs reprises ce que nous appelons la méthode de la charnière. Cette méthode consiste à chercher une caractéristique du régime suffisamment bien liée aux hautes eaux pour constituer un paramètre stable, et déjà située de façon évidente sur la courbe de tarissement, ou tout au moins de décroissance. C'est cette caractéristique que nous appelons char-

nière. Le débit des mois suivants peut être déterminé à partir de la charnière d'une part, par une relation fonctionnelle dérivée de la loi de tarissement, et d'autre part, de relations stochastiques exprimant l'influence des pluies mensuelles durant la période de décrue. On peut aussi opérer directement par régressions multiples à partir de la charnière et des pluies mensuelles : c'est cette dernière méthode que nous avons préférée ici.

Nous allons examiner maintenant, mois par mois, la suite des opérations effectuées. Un des éléments d'information est constitué par les chiffres du tableau IV, page 57 du volume B - (Données hydrologiques) de cette monographie, dont nous avons retenu uniquement les débits mensuels provenant réellement d'observations hydrométriques. Le second élément d'information est fourni par le tableau V du présent volume.

Novembre

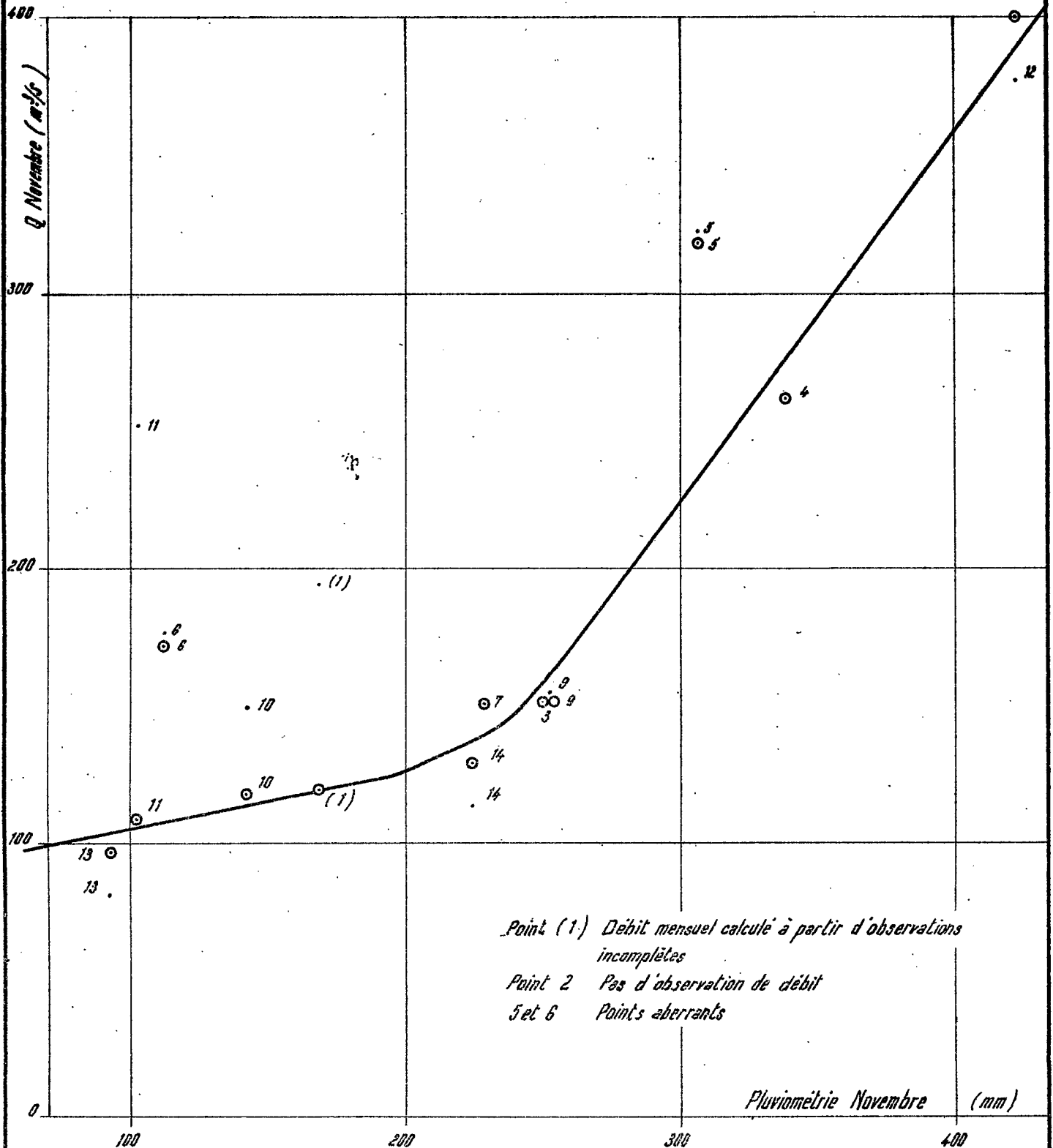
Le facteur conditionnel principal est la pluviométrie moyenne du mois. La saison de hautes eaux de l'année précédente semble n'avoir qu'une influence négligeable sur le débit moyen de Novembre mais on doit tenir compte des pluies tombées en Septembre et Octobre ; cette prise en compte se fait par l'intermédiaire d'un paramètre unique : la pluviométrie moyenne sur le bassin durant les deux mois en cause.

La régression est traduite par la courbe du graphique 1 pour le facteur principal (pluviométrie de Novembre) et la courbe du graphique 1 bis pour la correction due au facteur secondaire (pluie de Septembre + Octobre). Les années d'observations hydrométriques sont numérotées de 1 à 14 (1948-49 à 1961-62).

Sur le graphique 1, les débits observés portés en regard du facteur principal sont représentés par des points simples. Les points cerclés correspondent aux mêmes débits après corrections indiquées par le graphique 1 bis. Cette même représentation sera conservée pour les autres mois.

IKOPA A ANTSATRANA - NOVEMBRE

Facteur principal : Pluie moyenne de Novembre



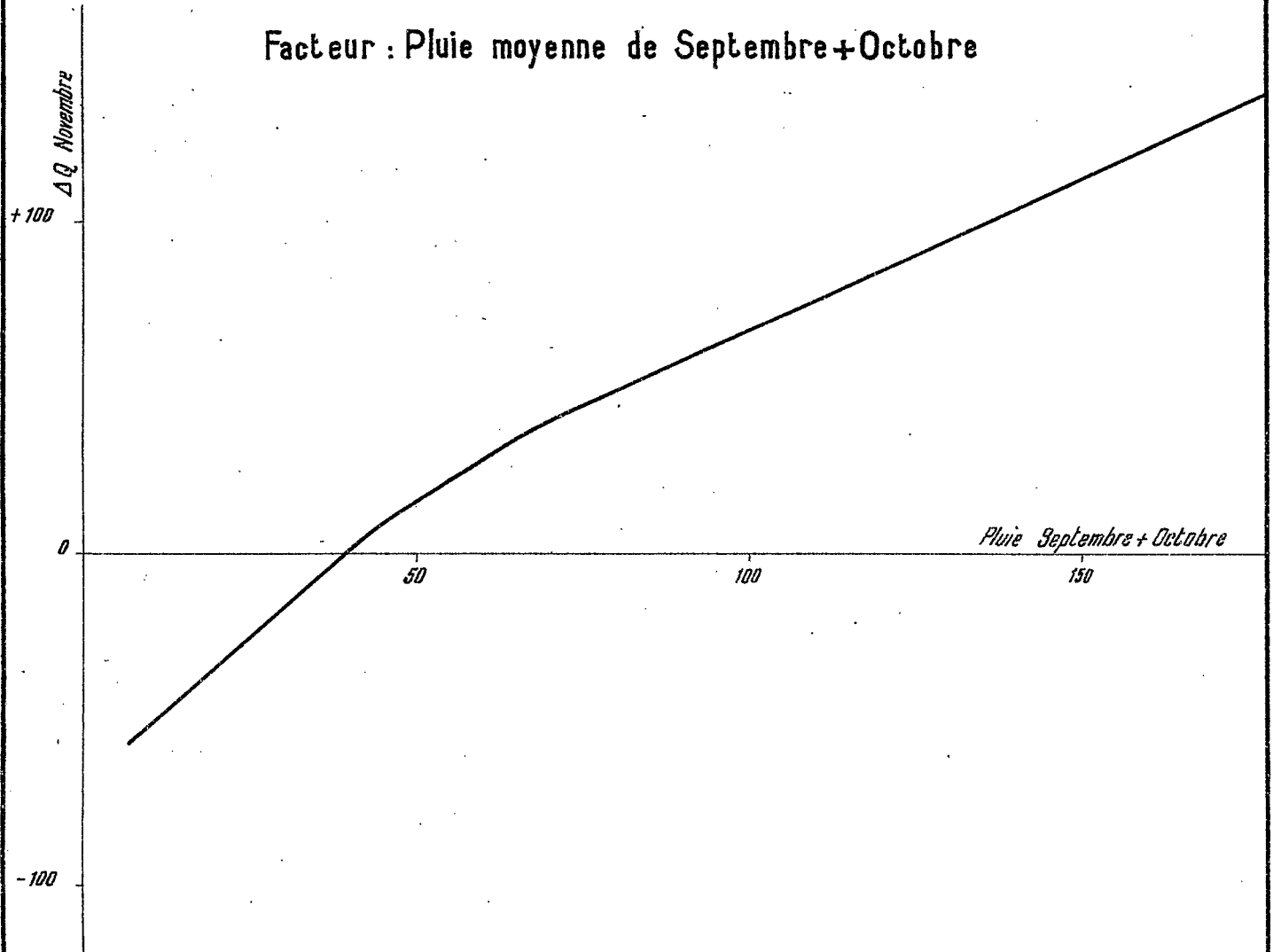
Point (1) Débit mensuel calculé à partir d'observations incomplètes
 Point 2 Pas d'observation de débit
 5 et 6 Points aberrants

Pluviométrie Novembre (mm)

IKOPA A ANTSATRANA-NOVEMBRE

Courbe de correction

Facteur : Pluie moyenne de Septembre + Octobre



Pour Novembre, il n'y a pas eu d'observations hydrométriques en 1949-50 (point 2). Les points 5 (1952-53) et 6 (1953-54) sont aberrants sans qu'on puisse déceler la cause de cette aberration ; on verra que ces mêmes points sont souvent aberrants au cours des autres mois.

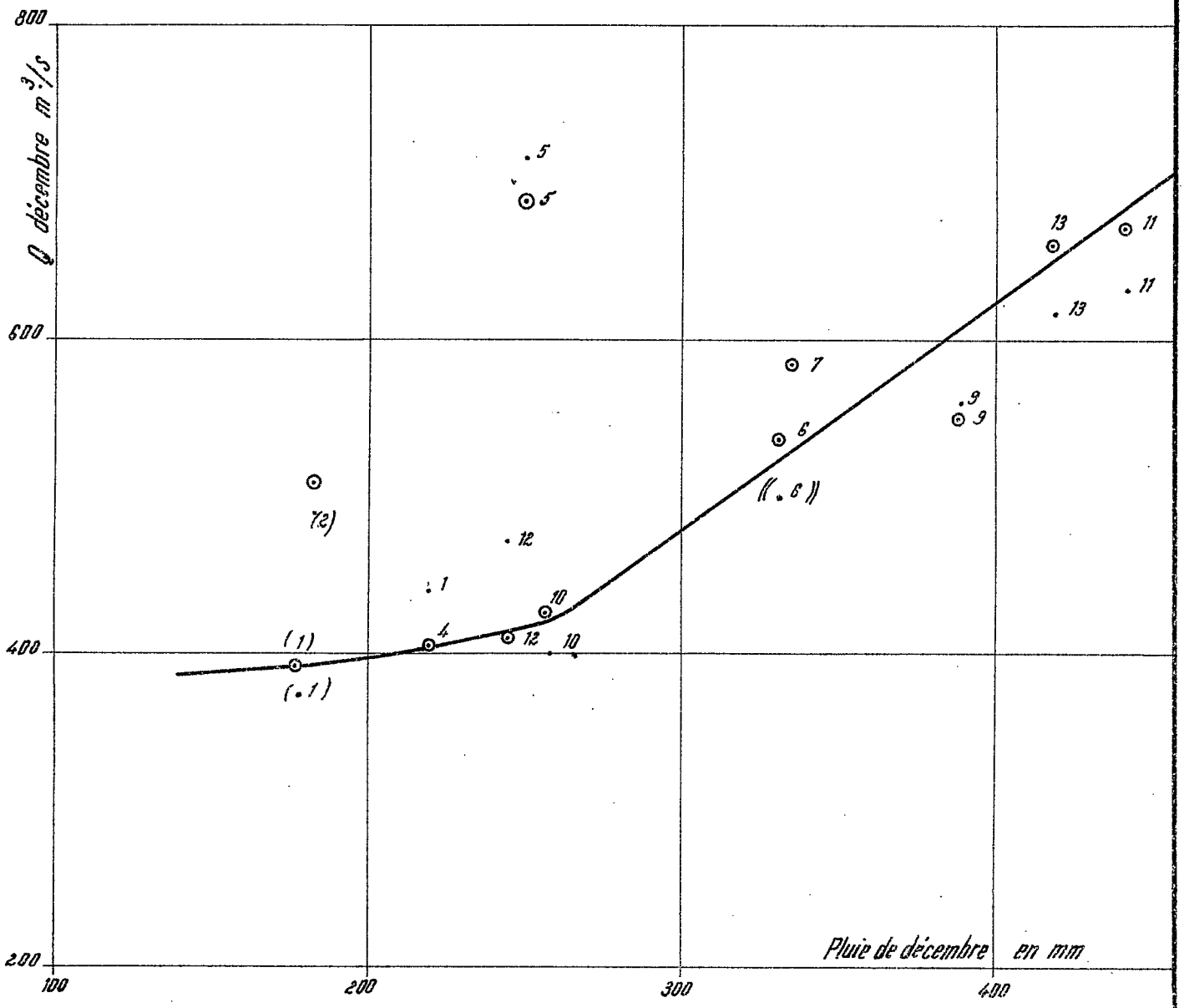
Décembre

Les débits correspondant aux points 3 et 8 n'ont pas été observés.

Le facteur principal est la pluie du mois. L'importance des précipitations de Novembre n'est pas négligeable mais Septembre et Octobre ne semblent plus avoir aucune influence. Le point 5 est aberrant et 2 est aussi assez fort ; il faut dire que le débit mensuel a été calculé pour ce dernier point à partir de relevés très incomplets. Enfin, le débit donné pour 1961-62 (point 14) est anormalement fort ; on verra que, pour ce même point, Janvier est au contraire anormalement faible, l'ensemble des deux étant à peu près normal. Ce fait pourrait être expliqué par une concentration anormale des pluies dans la partie basse du bassin, ce qui est bien indiqué par les tableaux I, II, et III. Cette explication n'est toutefois que partiellement satisfaisante, l'hétérogénéité spatiale dans les pluies n'étant pas suffisamment importante pour justifier pleinement le débit moyen de $1\ 536\ m^3/s$ donné pour Janvier. On remarquera que le réseau pluviométrique dans le bassin intermédiaire limité par FIADANANA et ANTSATRANA, quoique relativement satisfaisant, n'est pas assez dense pour que l'on soit absolument certain, dans tous les cas, de ne pas laisser passer des précipitations encore plus fortes que celles qui ont été observées. Ceci a une certaine importance à l'échelle des débits mensuels mais fort peu à l'échelle annuelle. D'autre part, comme l'étude des débits mensuels est surtout utilisée pour la connaissance des apports dans une éventuelle retenue, une sous-estimation par calculs hydropluviométriques va dans le sens de la sécurité ; il n'y a donc pas lieu d'être inquiet. On pourra objecter que, par contre, le débit du mois suivant risque d'être surestimé ; ceci est exact, mais l'observation

IKOPA A ANTSATRANA - DÉCEMBRE

Facteur principal : Pluie de Décembre

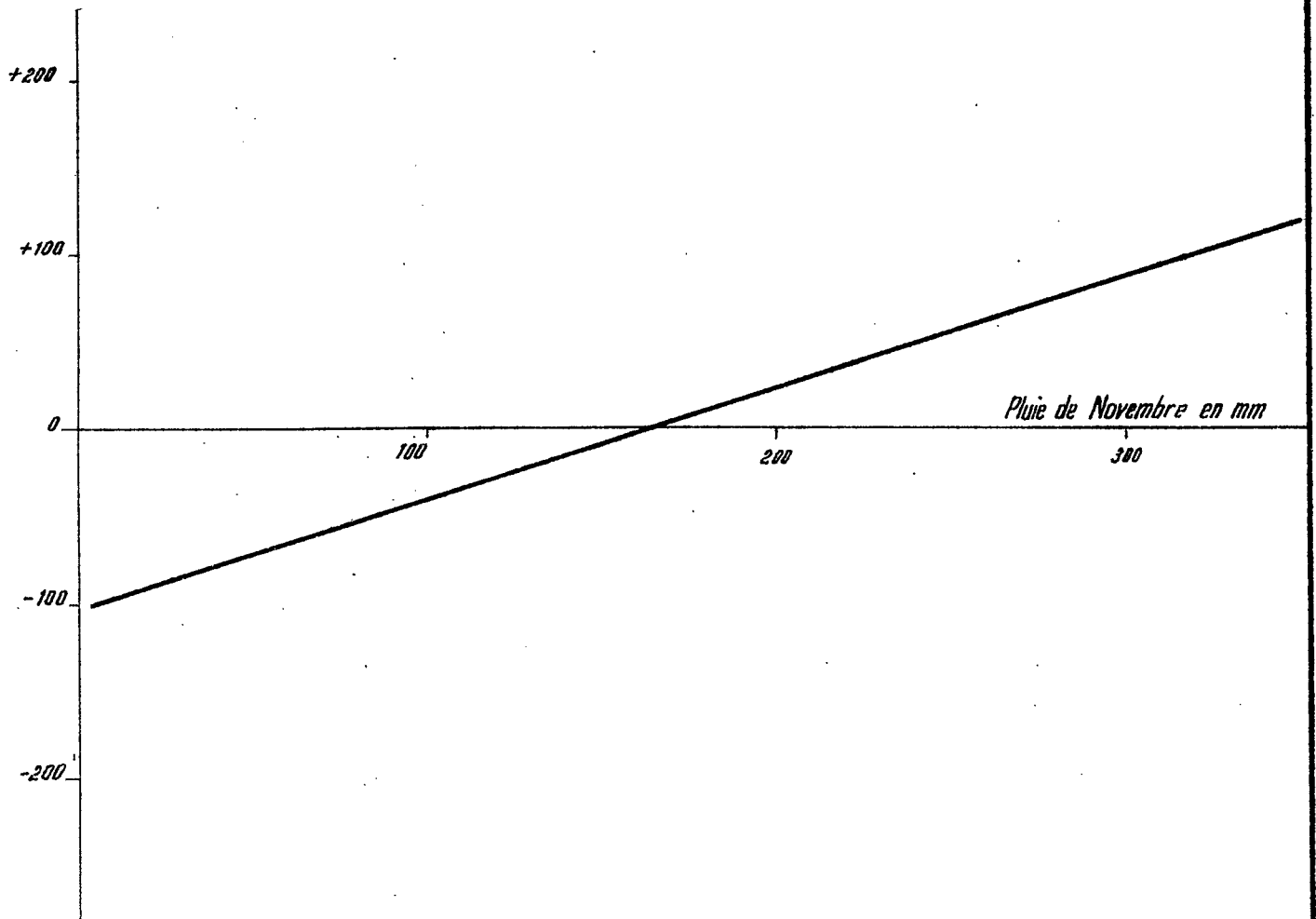


2, 5 et 14 aberrants

IKOPA A ANT SATRANA - DÉCEMBRE

Courbe de correction

Facteur : Pluie de Novembre



directe de l'ensemble des deux, que nous avons annoncé comme à peu près normal, est en fait un peu au-dessus de la normale ; donc l'estimation par corrélations hydropluviométriques tendra encore à la sous-estimation des apports considérés globalement sur l'ensemble des deux mois. On peut donc conclure que l'existence de tels phénomènes ne risque pas de conduire à une estimation des apports trop erronée par excès.

La régression tenant compte du facteur principal est donnée sur le graphique 2 ; la courbe de correction due à la pluie de Novembre figure sur le graphique 2 bis.

Janvier

Les débits correspondant aux points 1, 2, 4, 5 et 8 n'ont pas été observés.

Le facteur principal est la pluie de Janvier (graphique 3). L'influence de la pluie de Décembre se traduit directement par le facteur "pluie moyenne de Décembre" (graphique 3 bis). La pluviométrie de Novembre intervient par l'intermédiaire d'une composition quadratique avec la pluie de Décembre : $P_N \times P_D$ (graphique 3 ter). Le schéma du transfert des réserves d'un mois sur l'autre reste encore relativement simple. Le point aberrant 14 a été discuté plus haut.

Février

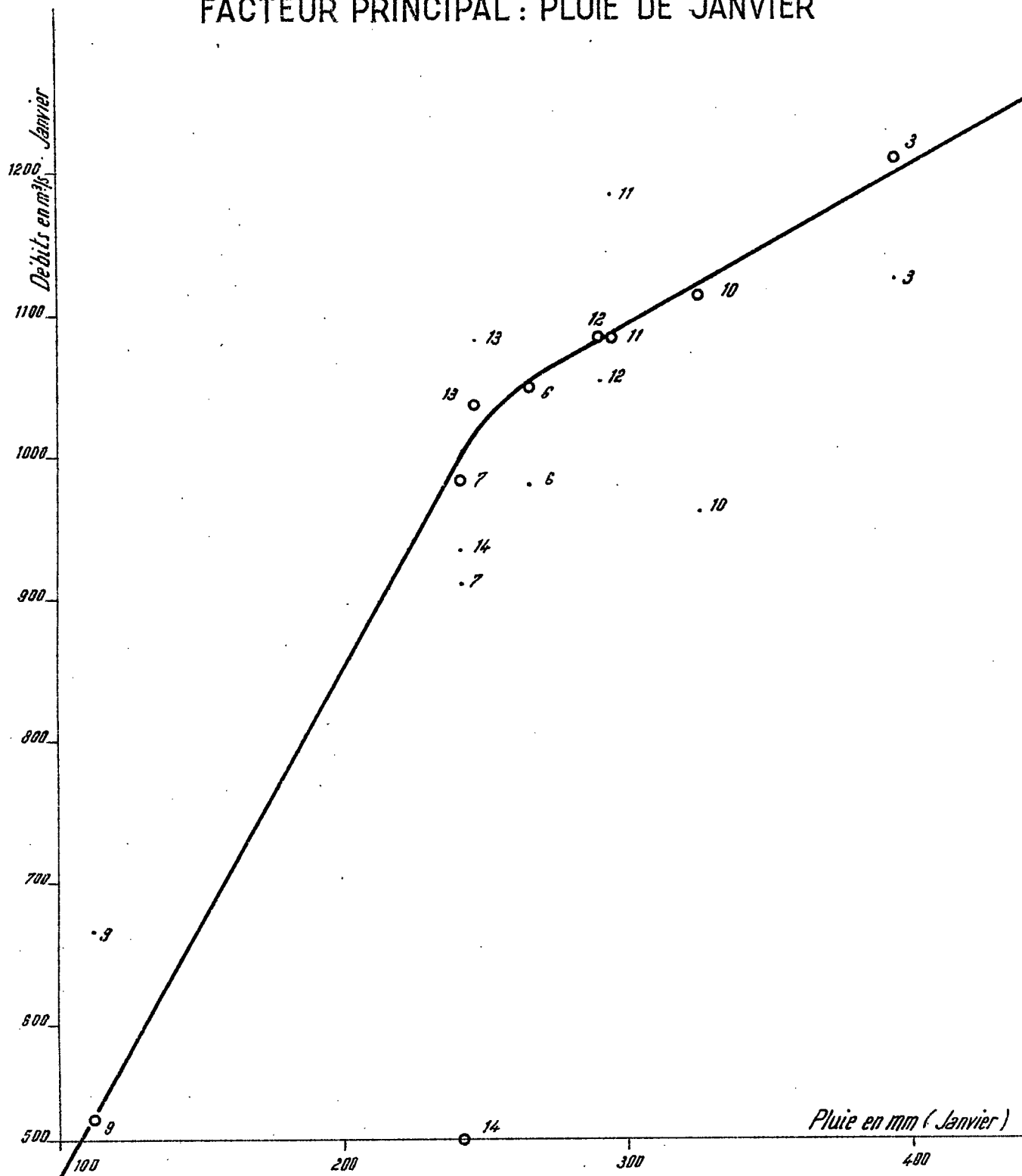
Les débits correspondant aux points 5, 6 et 8 n'ont pas été observés.

Le facteur principal est la pluie de Février (graphique 4). La pluie de Janvier intervient par une composition quadratique avec la pluie de Février : $P_F \times P_{Ja}$ (graphique 4 bis). Les points 2 et 7 sont aberrants sans qu'on puisse en trouver la raison. Il ne semble pas que les pluies antérieures à Janvier aient une influence quelconque sur le débit de Février.

Gr. 3

IKOPA A ANTSATRANA - JANVIER

FACTEUR PRINCIPAL : PLUIE DE JANVIER



CRS TGM

Ao

DATE : 21-11-1961

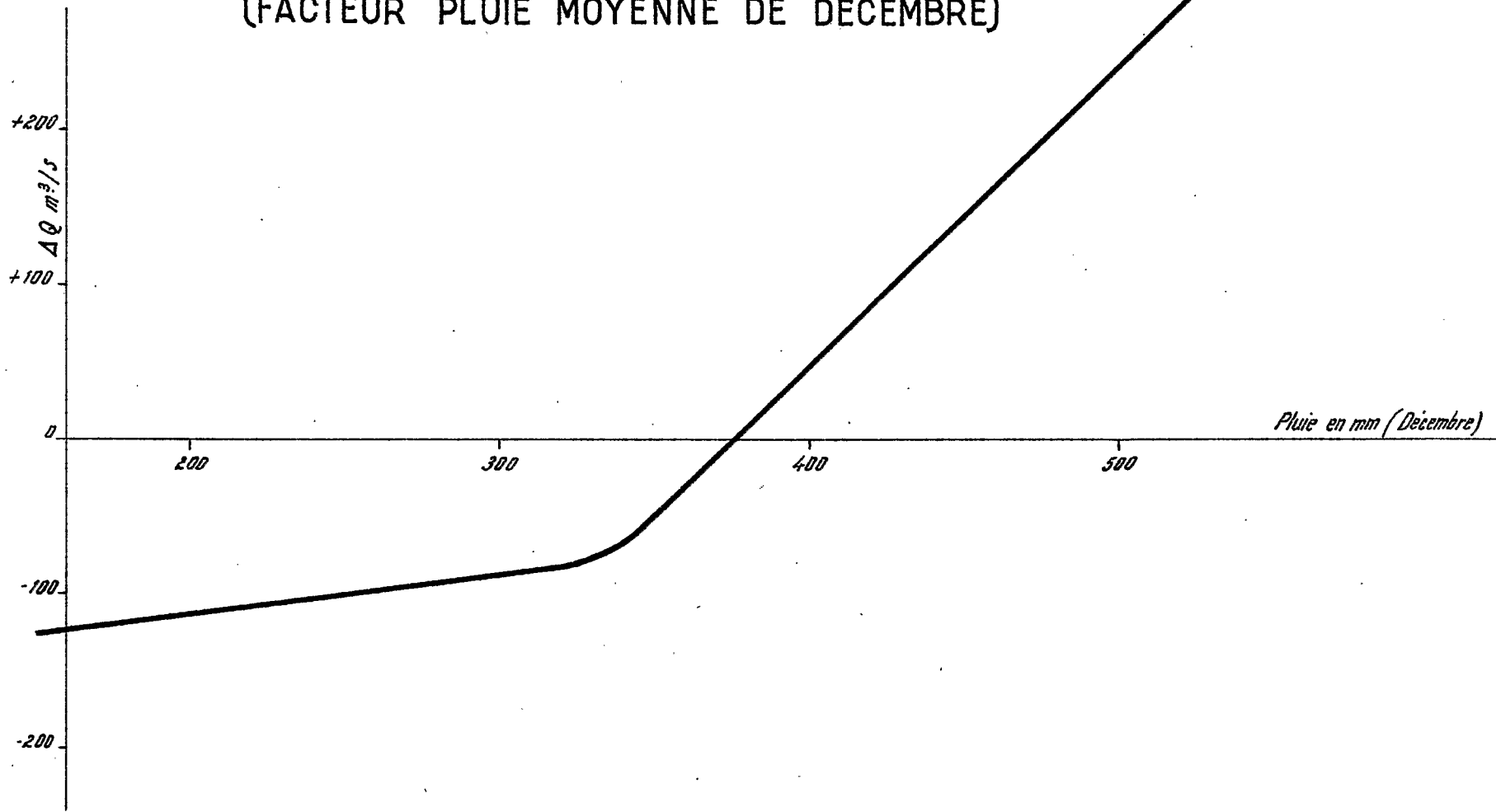
DESSINE : J. P. H.

MAD 171 054

ANTSATRANA - JANVIER - CORRECTION DE PREMIER ORDRE

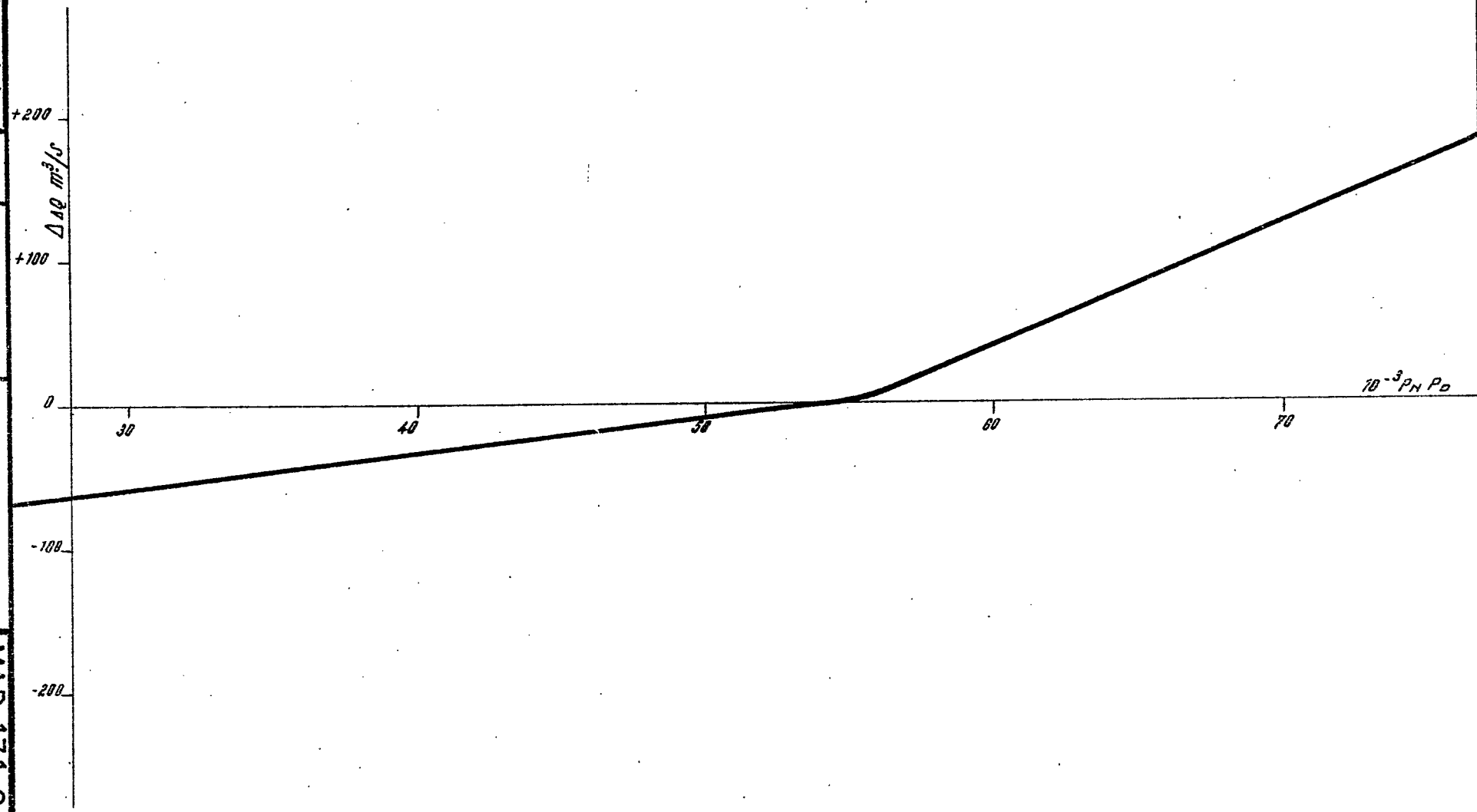
Gr. 3 bis

(FACTEUR PLUIE MOYENNE DE DÉCEMBRE)



Gr. 3ter

ANTSATRANA - JANVIER - CORRECTION DE SECOND ORDRE - FACTEUR $P_N \times P_D$



CRISTOM

Ao

DATE: 27/11/2015

DESSINE: B. B. B.

MAD 171 055

IKOPA A ANTSATRANA - FÉVRIER

Facteur principal : Pluie de Février

Debits de Février (m^3/s)

1400

1200

1100

1000

900

800

700

600

500

100

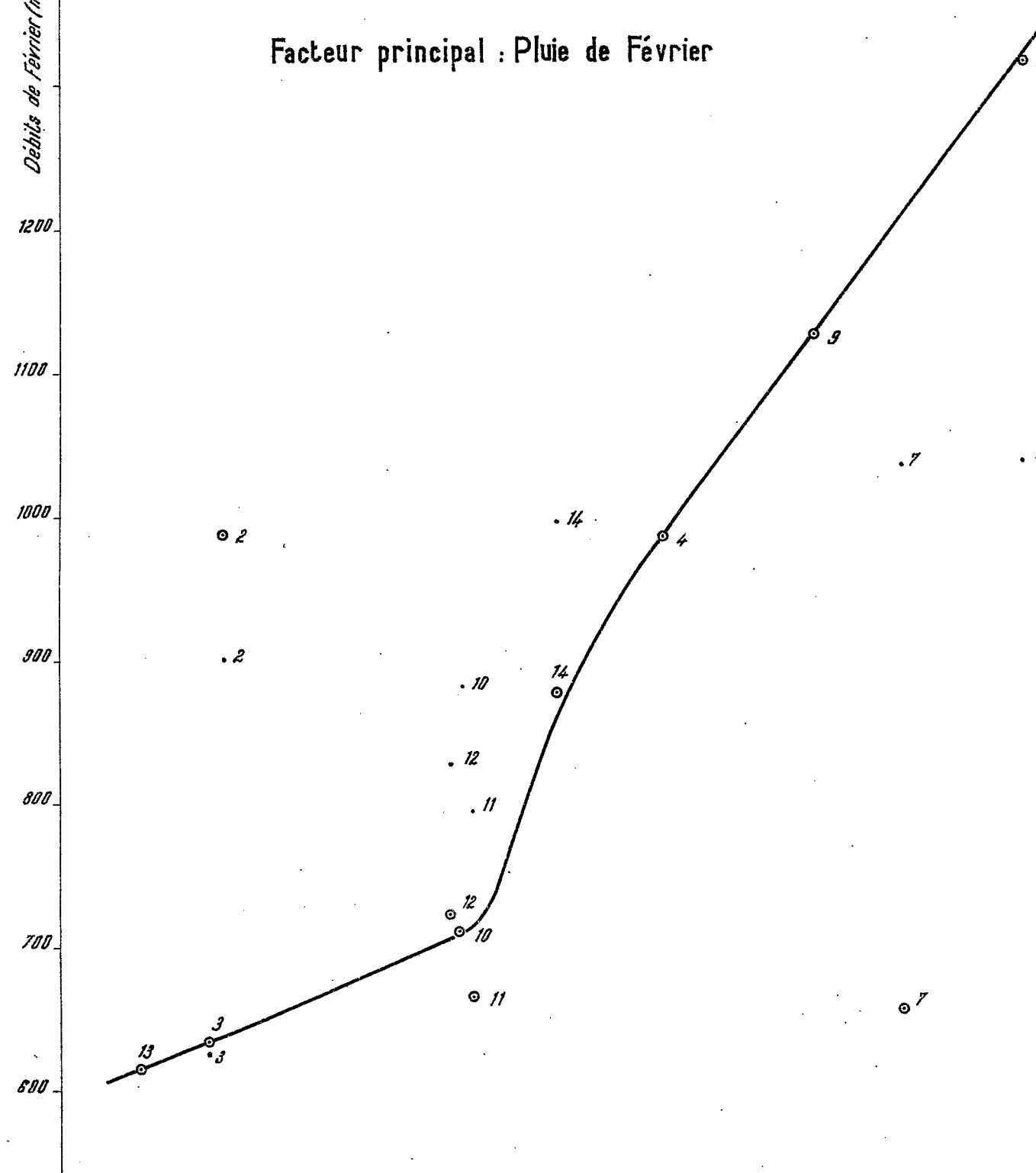
200

300

400

Pluie de Février (mm)

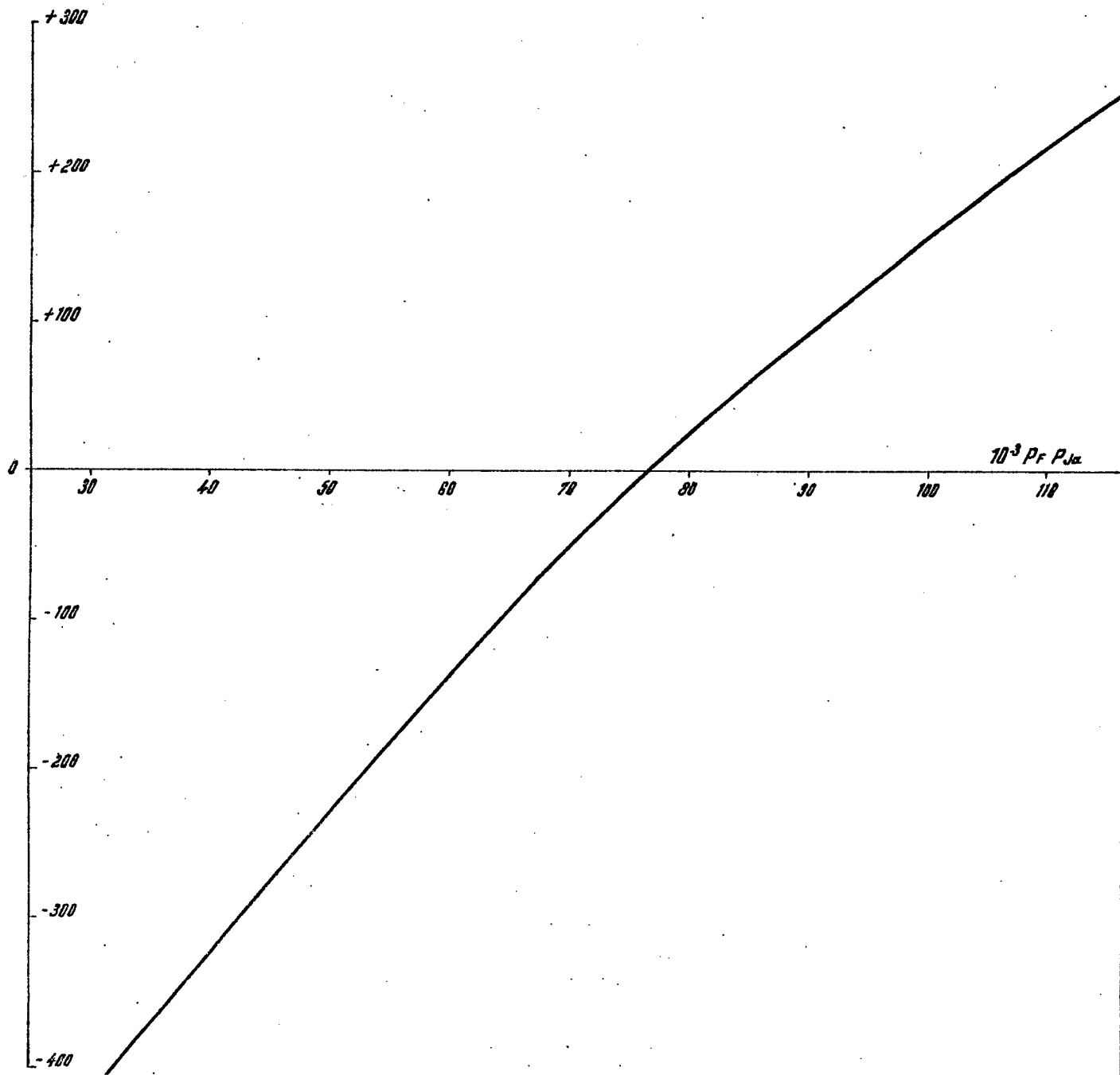
Points aberrants : 2 et 7



IKOPA A ANTSATRANA - FÉVRIER

Courbe de correction

Facteur: $P_r \times P_{Ja}$



Mars

Seul le débit moyen correspondant au point 2 n'a pas été observé.

Le facteur principal est la pluie de Mars (graphique 5).

La pluie de Février intervient par la composition quadratique $P_{Ms} \times P_F$ (graphique 5 bis) et la pluie de Janvier par la composition cubique $P_{Ms} P_F P_{Ja}$ (graphique 5 ter). Les points 5 et 6 sont aberrants sans qu'on puisse en trouver la raison.

Avril

Les débits correspondant aux points 2 et 8 n'ont pas été observés.

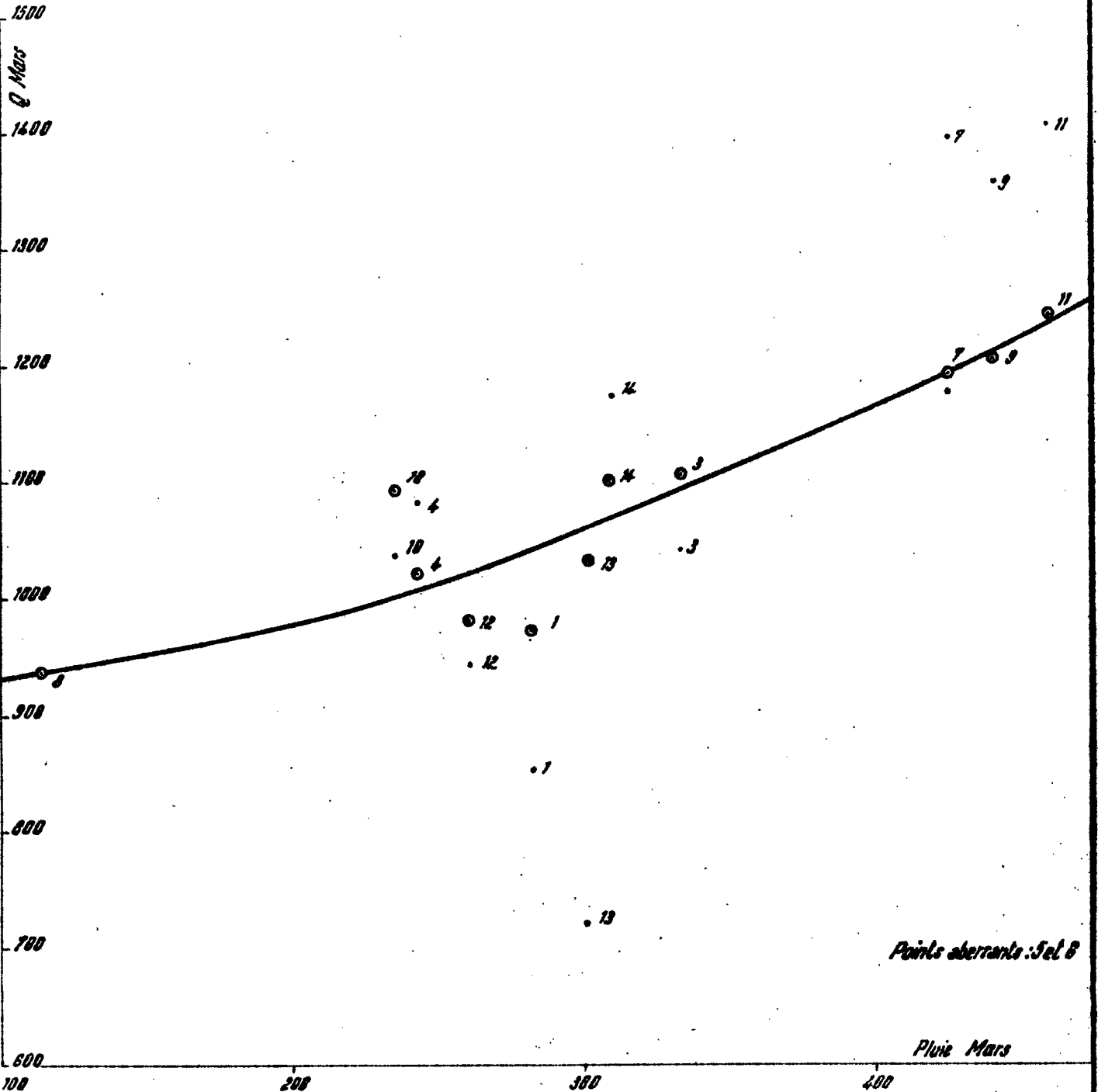
Le mois d'Avril commence à n'être que faiblement arrosé et la pluviométrie n'intervient que comme un facteur secondaire. Le facteur principal est la pluie de Mars (graphique 6). La pluie d'Avril intervient comme une correction de premier ordre dont l'influence reste forte. Il semble surtout que ce soit la faiblesse des pluies en Avril qui ait de l'importance pour le débit de ce mois (graphique 6 bis). La pluie de Février intervient par la composition quadratique $P_{Ms} \times P_F$ (graphique 6 ter) et la pluie de Janvier par la composition cubique $P_{Ms} \times P_F \times P_{Ja}$ (graphique 6 quater).

Les points 6 et 9 sont nettement aberrants si l'on tient compte des corrections imposées par les pluies antérieures à Mars. Le point 5 est également assez éloigné de la courbe moyenne. Là encore, on ne voit guère la raison de ces écarts, bien supérieurs à ce que pourrait donner une simple dispersion aléatoire.

On aurait pu penser utiliser comme charnière le débit moyen du mois d'Avril mais l'allure des courbes de régression en fait un paramètre dont l'estimation n'est pas

IKOPA A ANTSATRANA_MARS

Facteur principal: P_{Ms}



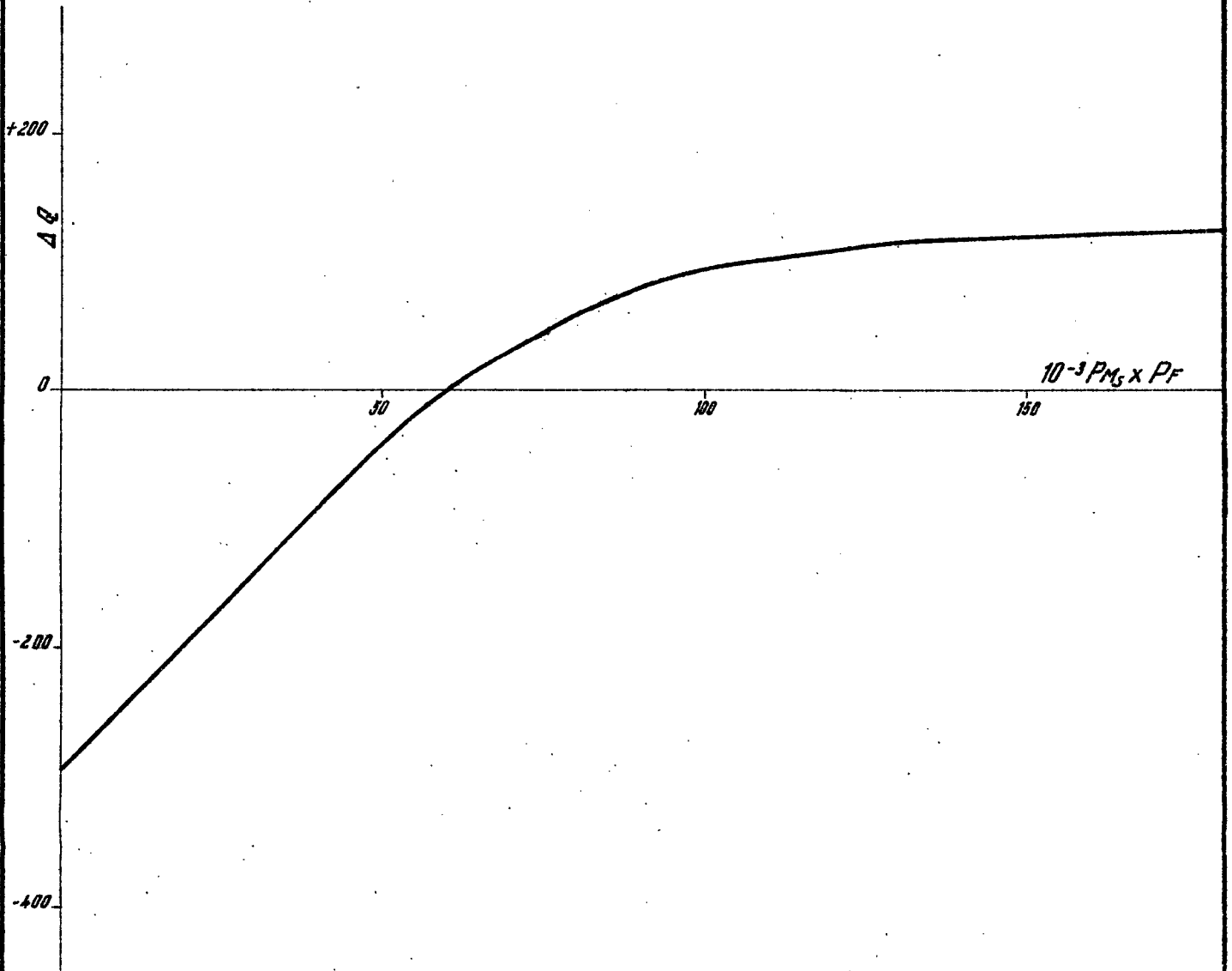
Points aberrants: Set 6

Pluie Mars

IKOPA A ANTSATRANA - MARS

CORRECTION DE PREMIER ORDRE

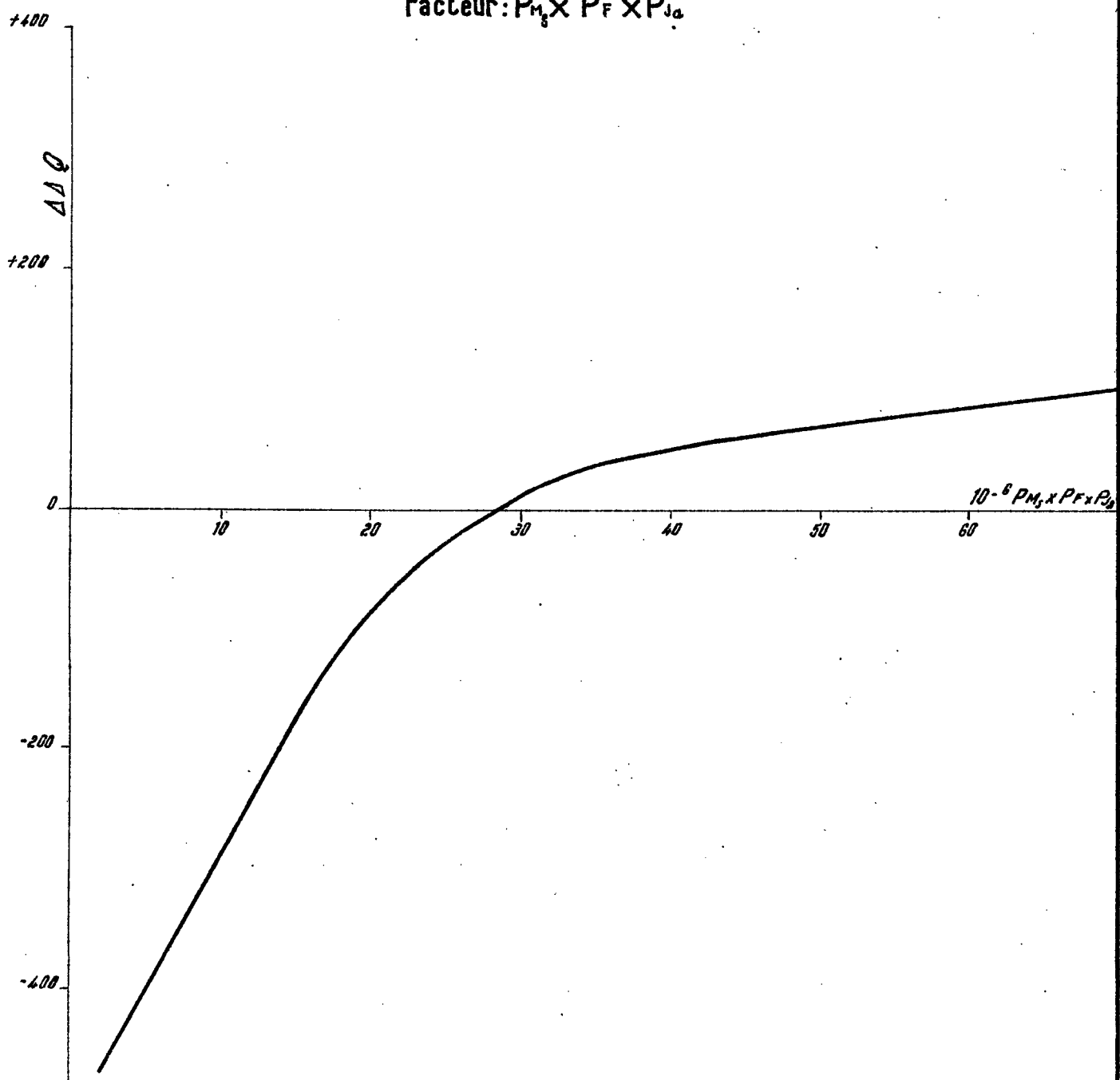
Facteur: $P_{M_3} \times P_F$



IKOPA A ANTSATRANA_MARS

CORRECTION DE SECOND ORDRE

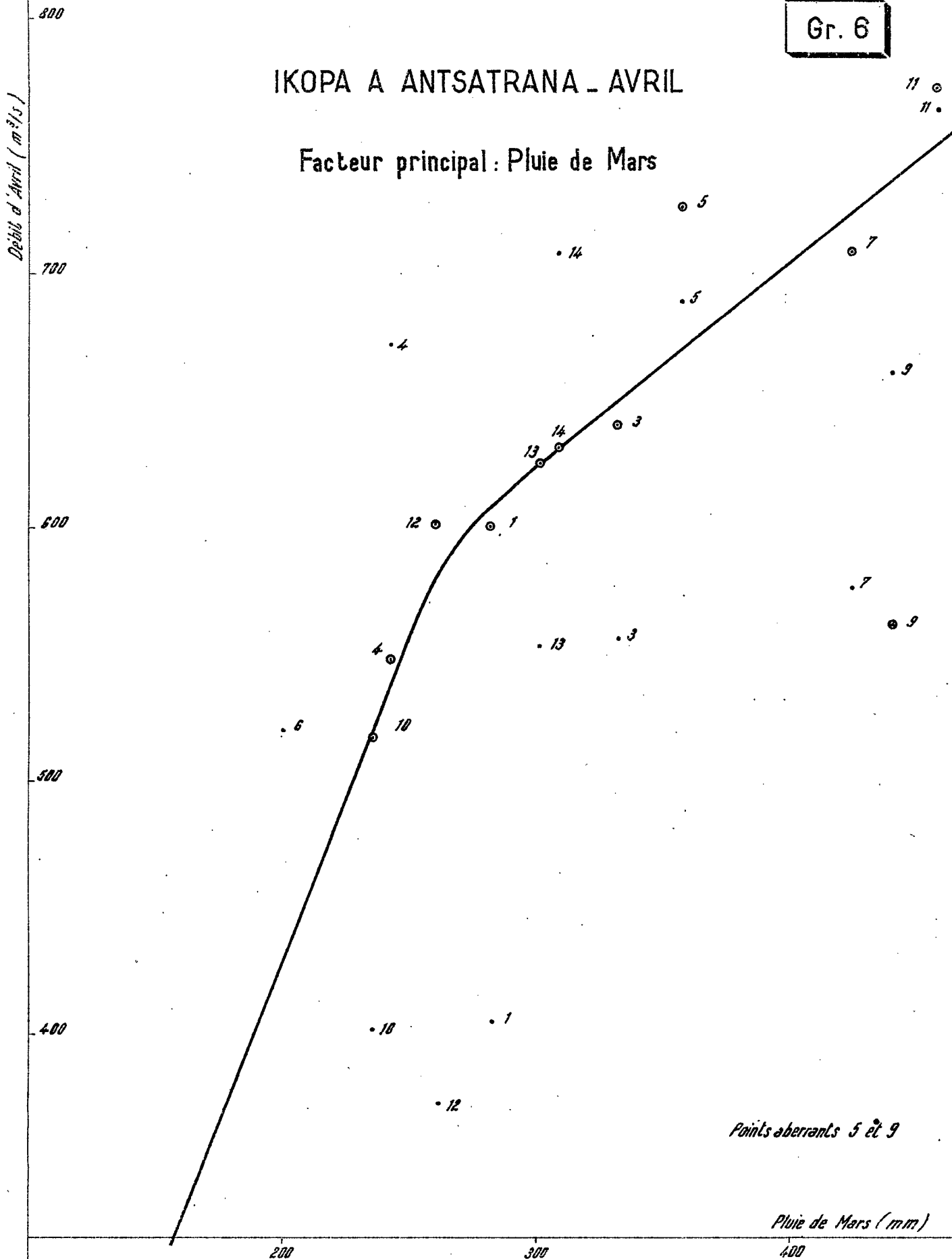
Facteur: $P_M \times P_F \times P_{J_0}$



Gr. 6

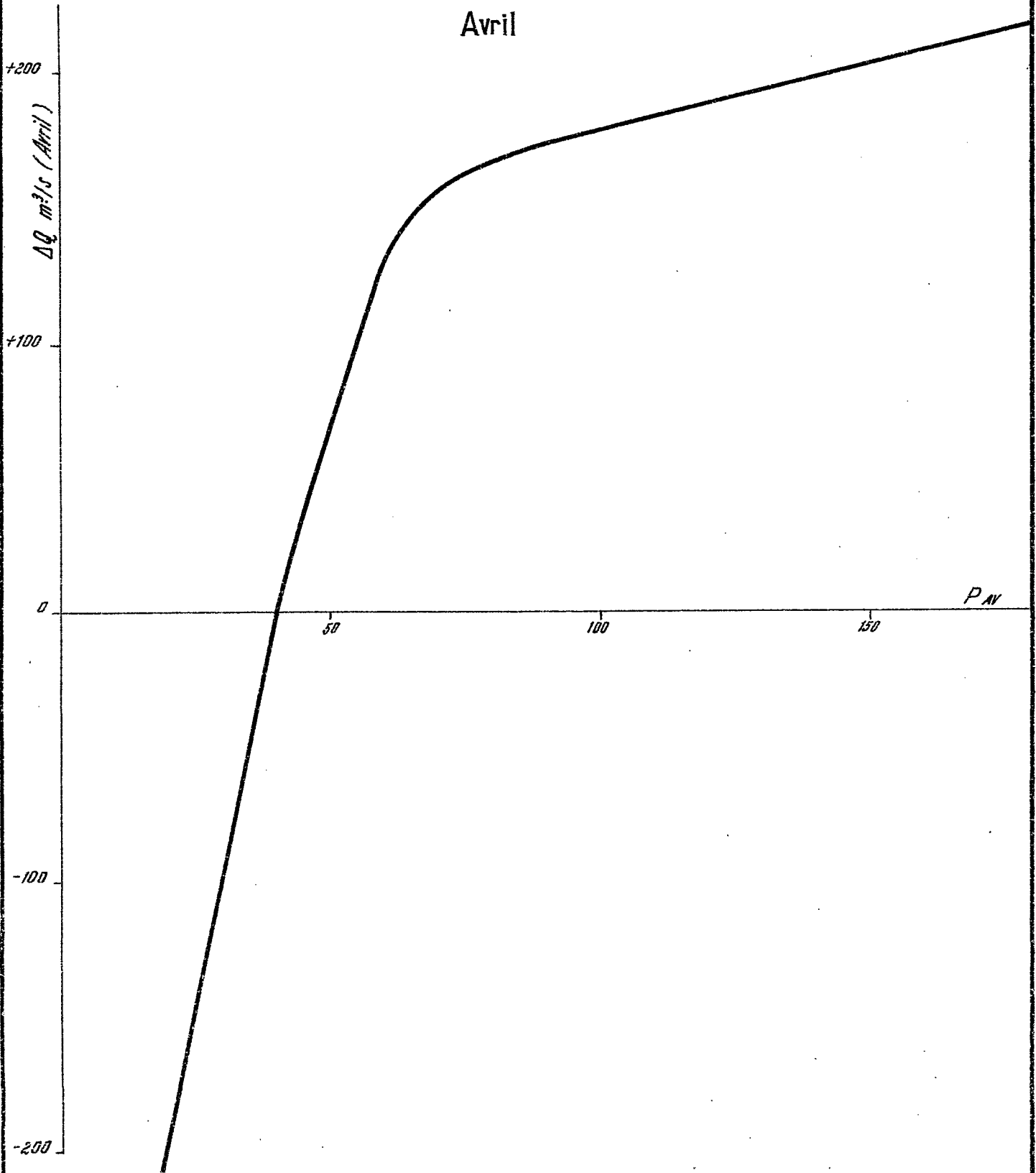
IKOPA A ANTSATRANA - AVRIL

Facteur principal : Pluie de Mars



ANTSATRANA_CORRECTION DE PREMIER ORDRE

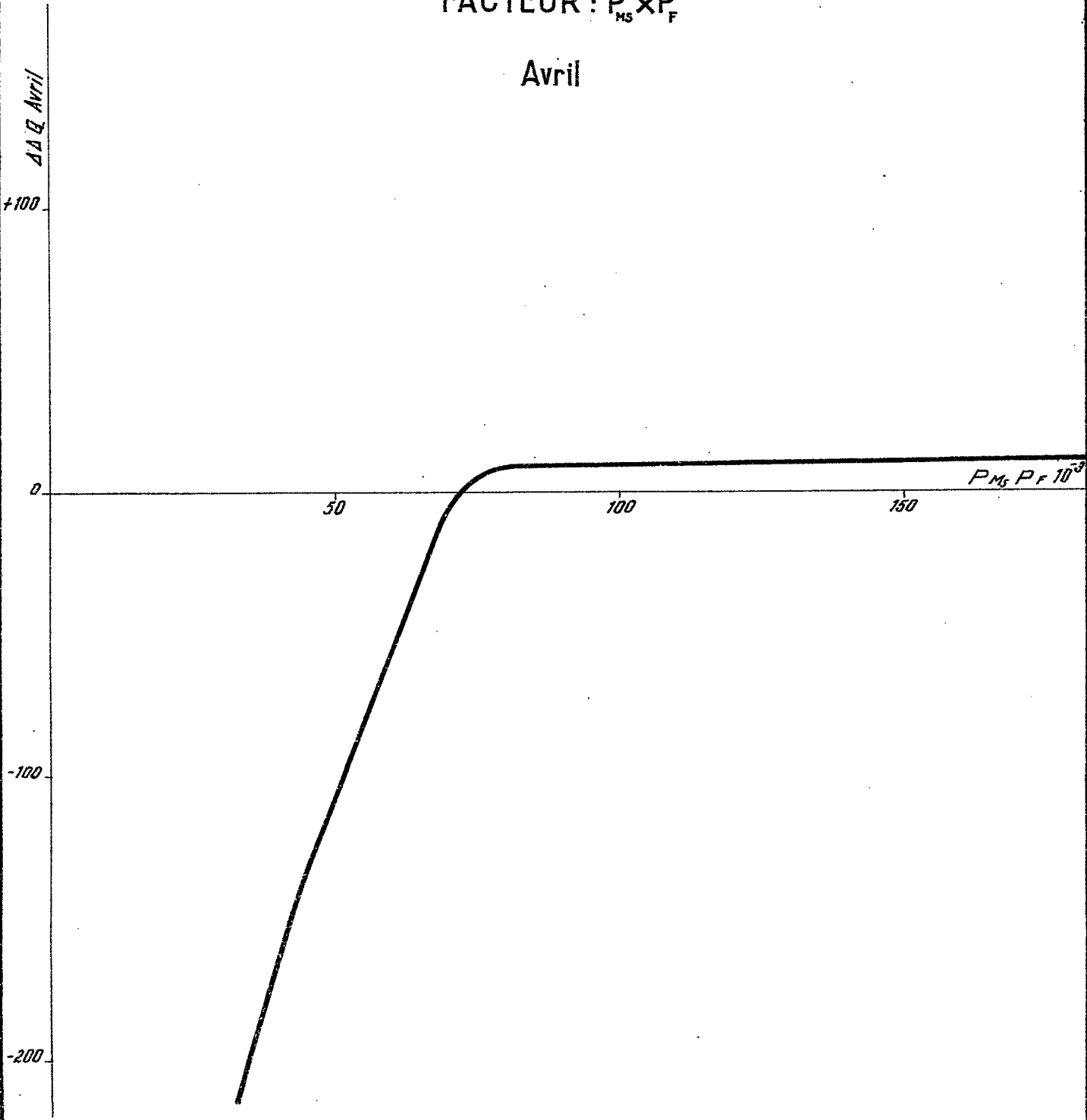
Avril



ANTSATRANA CORRECTION DE SECOND ORDRE

FACTEUR : $P_{MS} \times P_F$

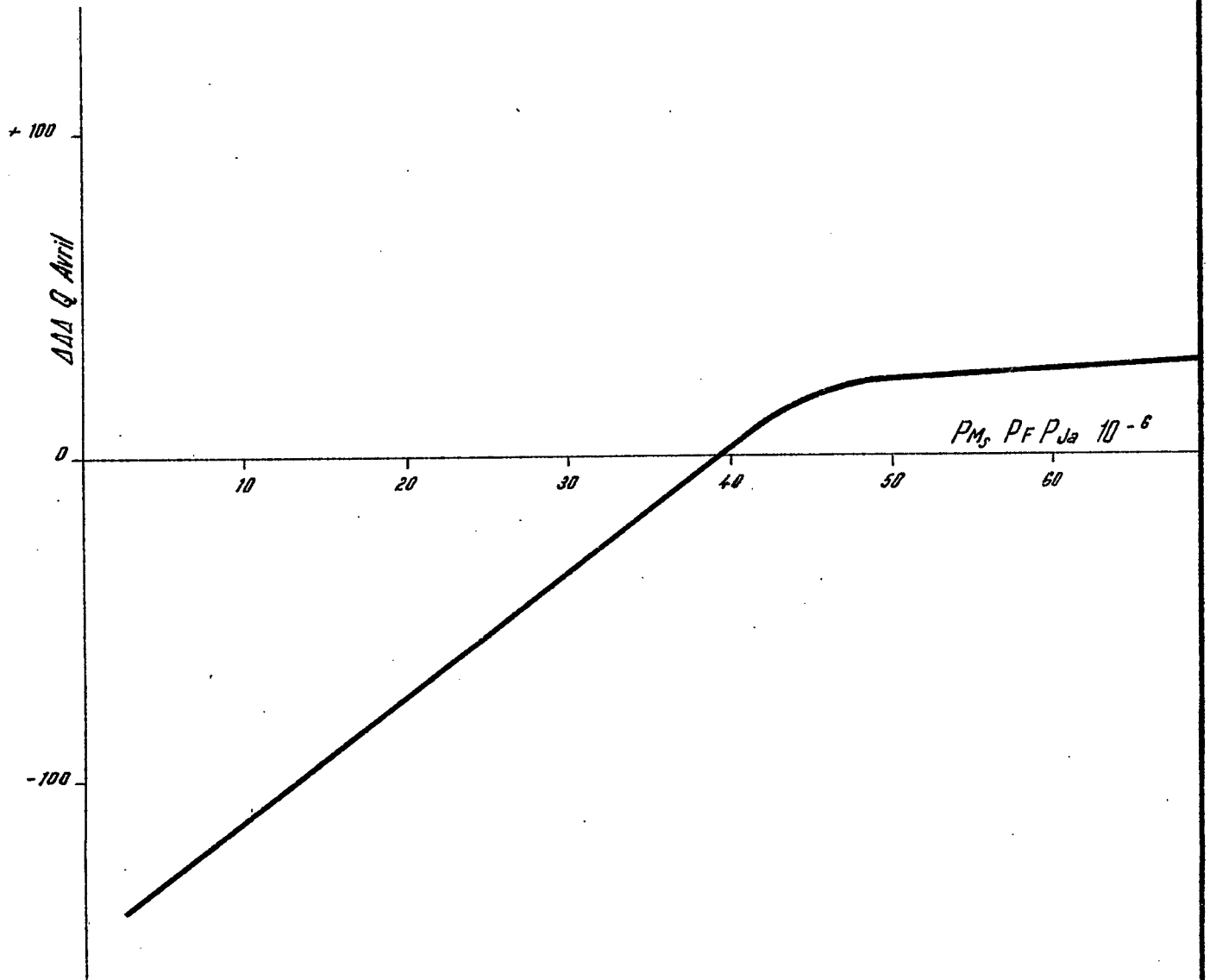
Avril



ANTSATRANA - CORRECTION DE TROISIÈME ORDRE

Facteur : $P_{M_s} \times P_F \times P_{J_a}$

Avril



très stable, ce qui ne serait guère favorable à une bonne estimation des débits de décrue et de basses eaux. D'autre part, une partie des réserves accumulées durant la saison des pluies ne s'est pas encore manifestée pleinement.

Mai

En Mai, la physionomie des corrélations va changer totalement. Les réserves souterraines provenant des précipitations depuis la début de la saison des pluies dans l'ensemble du bassin commencent à se manifester à ANTSTRANA ; il en résulte que des précipitations, sans effet sur le mois de hautes eaux ou du début de la décrue, doivent être prises en compte.

Il a donc paru logique d'adopter comme facteur principal la moyenne, sur le bassin, des pluies tombées durant la période Septembre-Mars ayant précédé le mois de Mai étudié (graphique 7). Les pluies de Mai et d'Avril sont considérées comme des facteurs secondaires dont l'influence se traduit par les régressions figurant sur les graphiques 7 bis et 7 ter.

Les points 5 et 6 sont aberrants, comme pour la plupart des mois. Le point 11 est également aussi trop fort mais l'écart peut être mis sur le compte de la dispersion aléatoire.

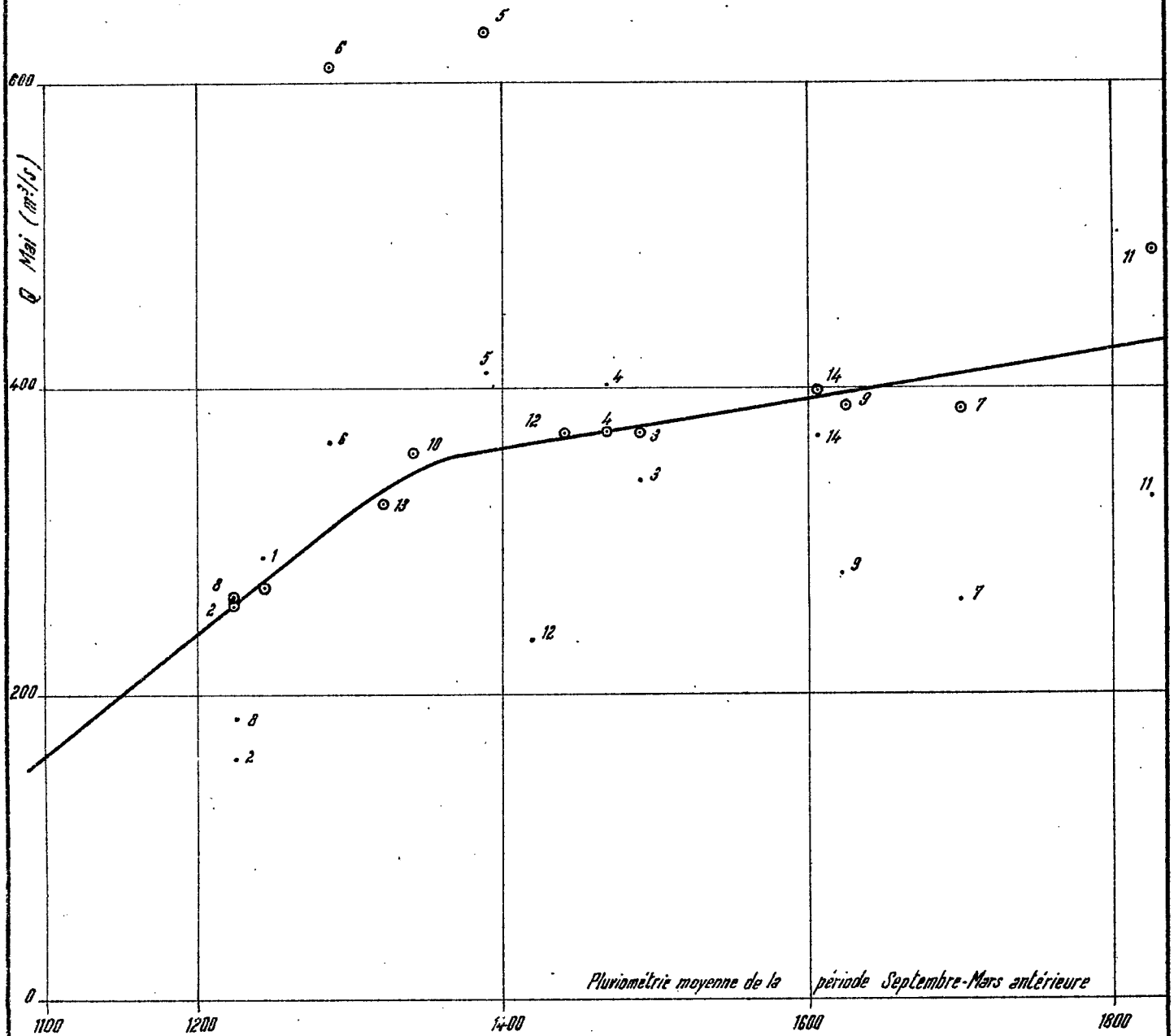
Juin

Les pluies du mois sont trop faibles pour avoir une influence décelable sur son débit moyen. Il est vrai toutefois qu'une concentration locale anormale des pluies de Juin peut augmenter un peu le débit. Ce fait se traduit par une dispersion assez importante autour de la courbe de régression : nous considérerons ces écarts comme aléatoires.

Le seul facteur conditionnel envisagé est le débit du mois de Mai. Cependant, comme le seul paramètre accessible concernant ce débit, en l'absence d'observations hydro-métriques, est le débit calculé de Mai, les régressions

IKOPA A ANTSATRANA_MAI

Facteur principal : Pluie moyenne de la période Septembre-Mars précédente



Points aberrants : 5 et 6

ORSTOM

Ad

DATE : 28-01-1962

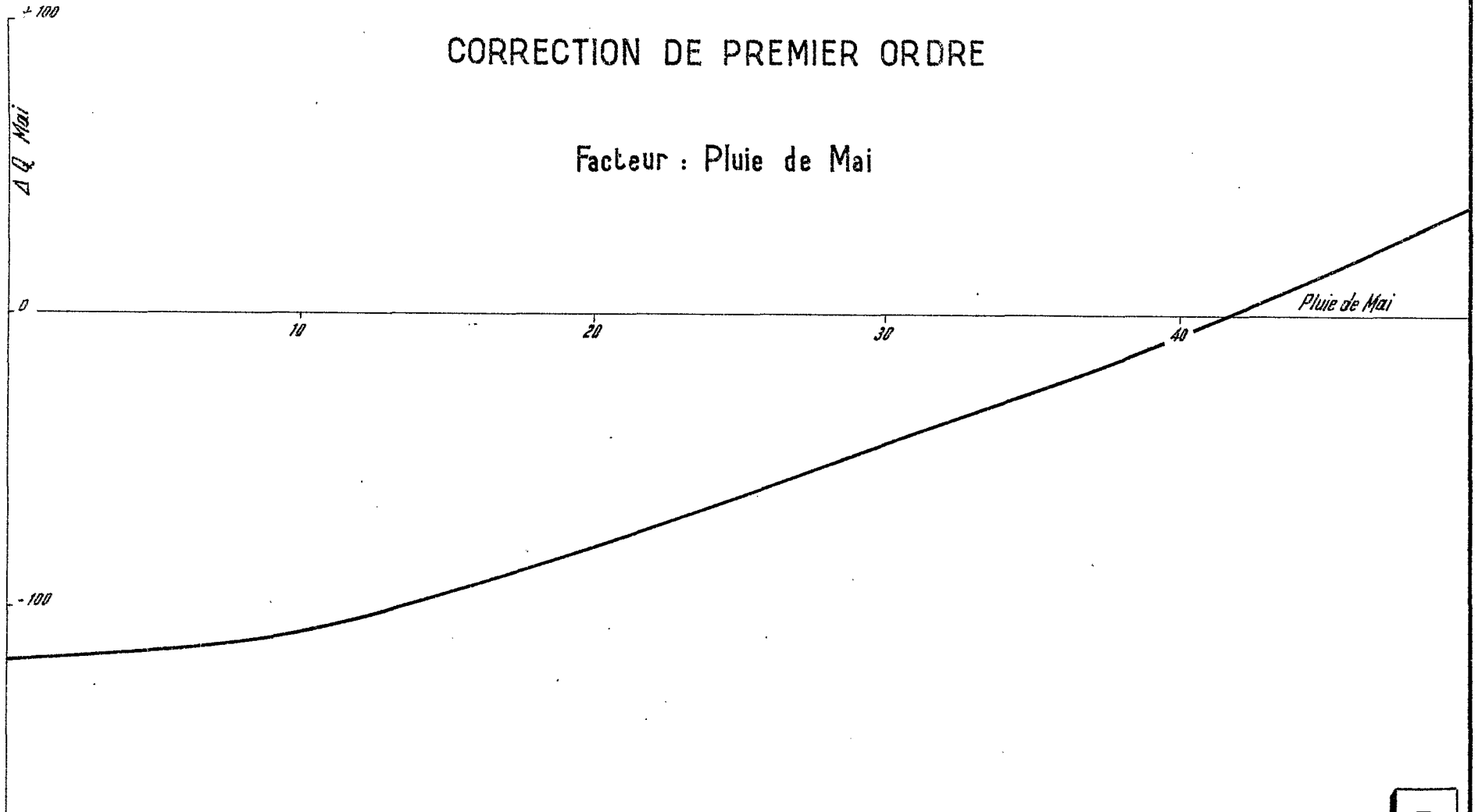
DESSINE : J. B. H. G.

MAD 171 066

IKOPA A ANTSATRANA_MAI

CORRECTION DE PREMIER ORDRE

Facteur : Pluie de Mai

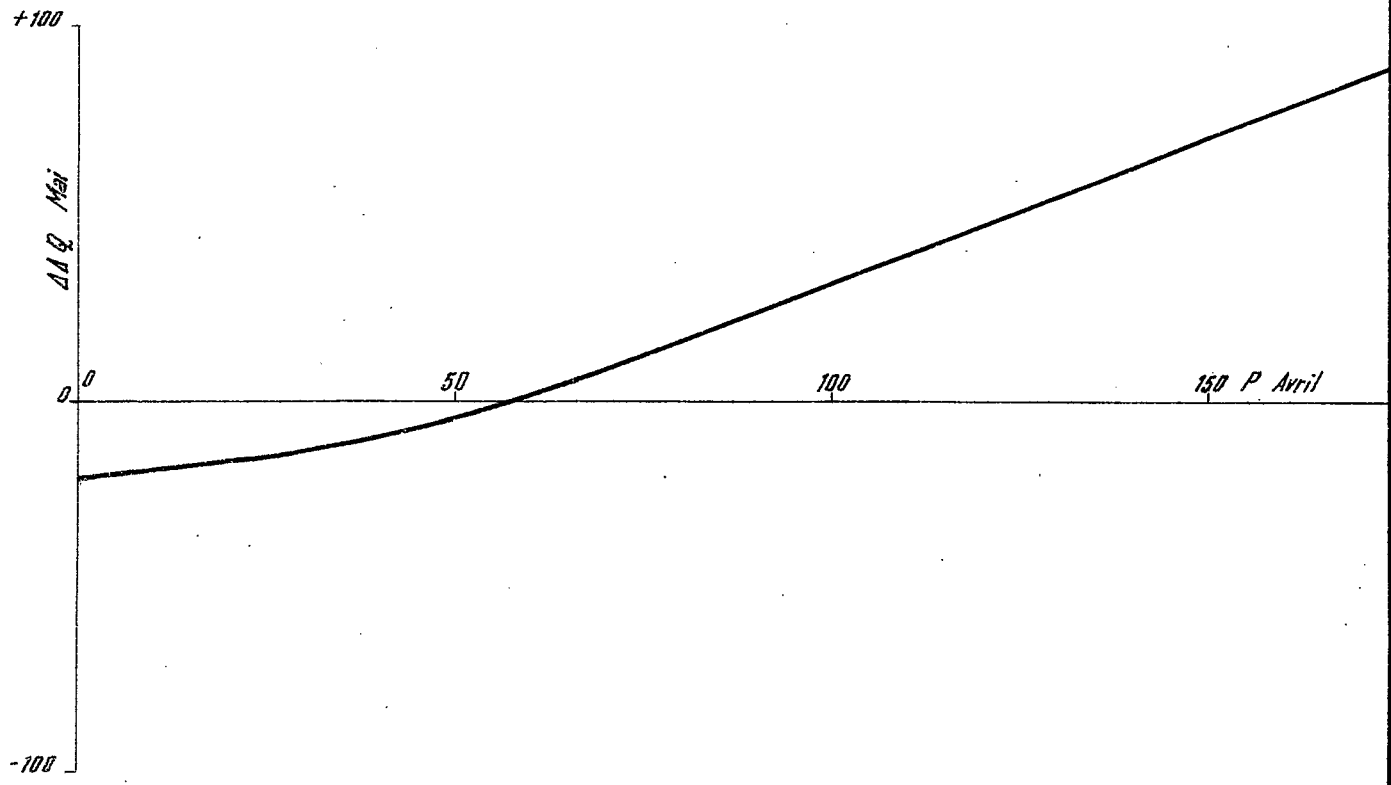


Gr. 7 bis

IKOPA A ANTSATRANA_MAI

CORRECTION DU SECOND ORDRE

Facteur: Pluie d'Avril



doivent être faites à partir des débits calculés et non des débits observés pour une question d'homogénéité. La courbe de régression figure sur le graphique 8. Le débit de Mai constitue en fait ce que nous avons appelé une charnière. Les régressions des débits des mois suivants, en regard de cette charnière, devraient être linéaires si on considère qu'il s'agit d'une expression du tarissement :

$$(Q_i = Q_0 e^{-kt} \text{ où } kt \text{ est une constante pour un mois donné}).$$

L'ajustement de la courbe aux points expérimentaux a été faite non par la méthode des moindres carrés, mais en minimisant la somme des valeurs absolues des écarts ; il semble difficile, par cette méthode, d'admettre une régression linéaire, ainsi que le montre le graphique 8. On peut toutefois admettre que les plus forts débits de Juin correspondent généralement à un retard de période de hautes eaux, ou à un retard dans le début du tarissement, ce qui expliquerait la non linéarité de la régression.

Les points 5 et 6 sont toujours aberrants.

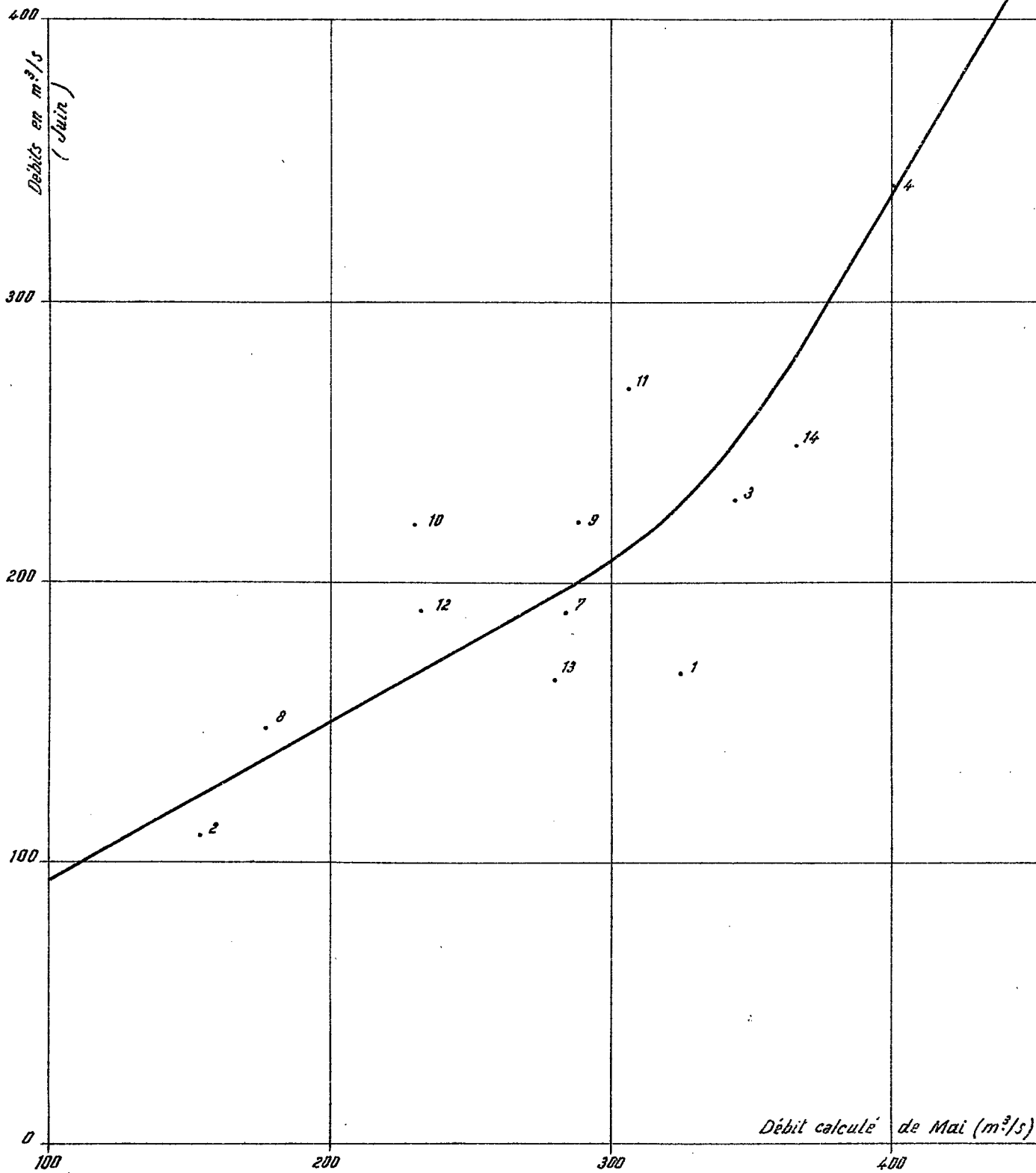
Juillet

L'effet de retard dans le tarissement s'estompe et il semble qu'on puisse admettre une régression linéaire avec débit calculé de Mai, toujours pris comme seul facteur conditionnel (graphique 9).

Les points 8 et 11 sont un peu aberrants, outre les points 5 et 6 naturellement. Les écarts peuvent toutefois être considérés comme aléatoires : malgré cela, nous avons pensé que leur prise en compte pour l'établissement de la courbe de régression n'était pas souhaitable ; de toute manière, cette façon de procéder va dans le sens de la sécurité. L'ajustement a été fait en minimisant la somme des valeurs absolues des écarts, 8 et 11 étant éliminés.

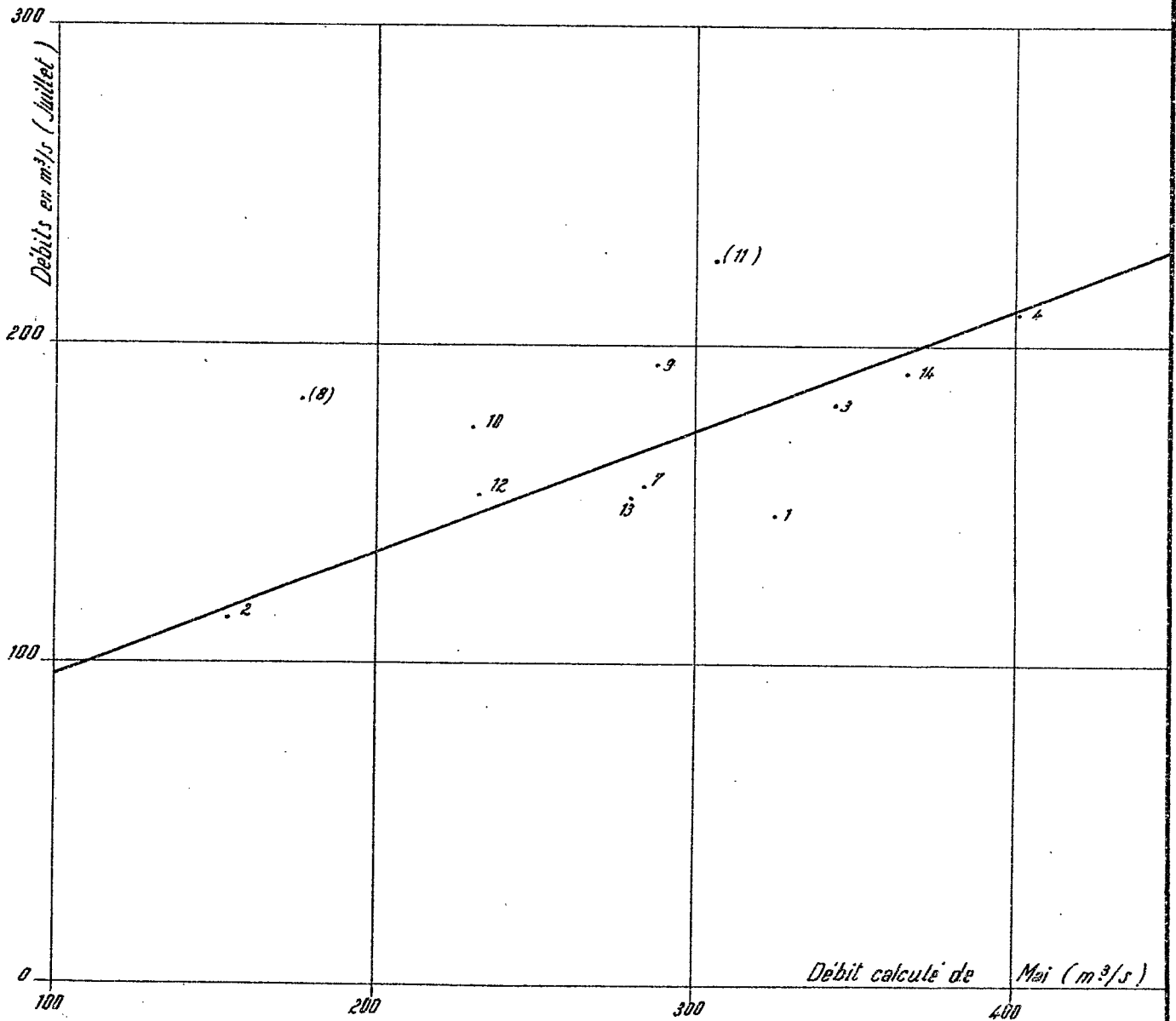
IKOPA A ANTSATRANA

Juin



IKOPA A ANTSATRANA

Juillet



Août

Le seul facteur considéré est le débit calculé de Mai (graphique 10). L'ajustement de la droite de régression à été fait en minimisant la somme des écarts absolus. Outre les points 5 et 6, le point 2 est considéré comme aberrant et il n'en a pas été tenu compte pour le tracé de la droite de régression.

Septembre

Les débits correspondant aux points 2 et 5 n'ont pas été observés.

Le facteur principal est toujours le débit calculé de Mai (graphique 11), mais le point 11 montre l'influence de la pluie de Septembre dont il a été tenu compte au moyen de la courbe de correction tracée sur le graphique 11 bis.

Octobre

Les débits correspondant aux points 2, 3 et 4 n'ont pas été observés.

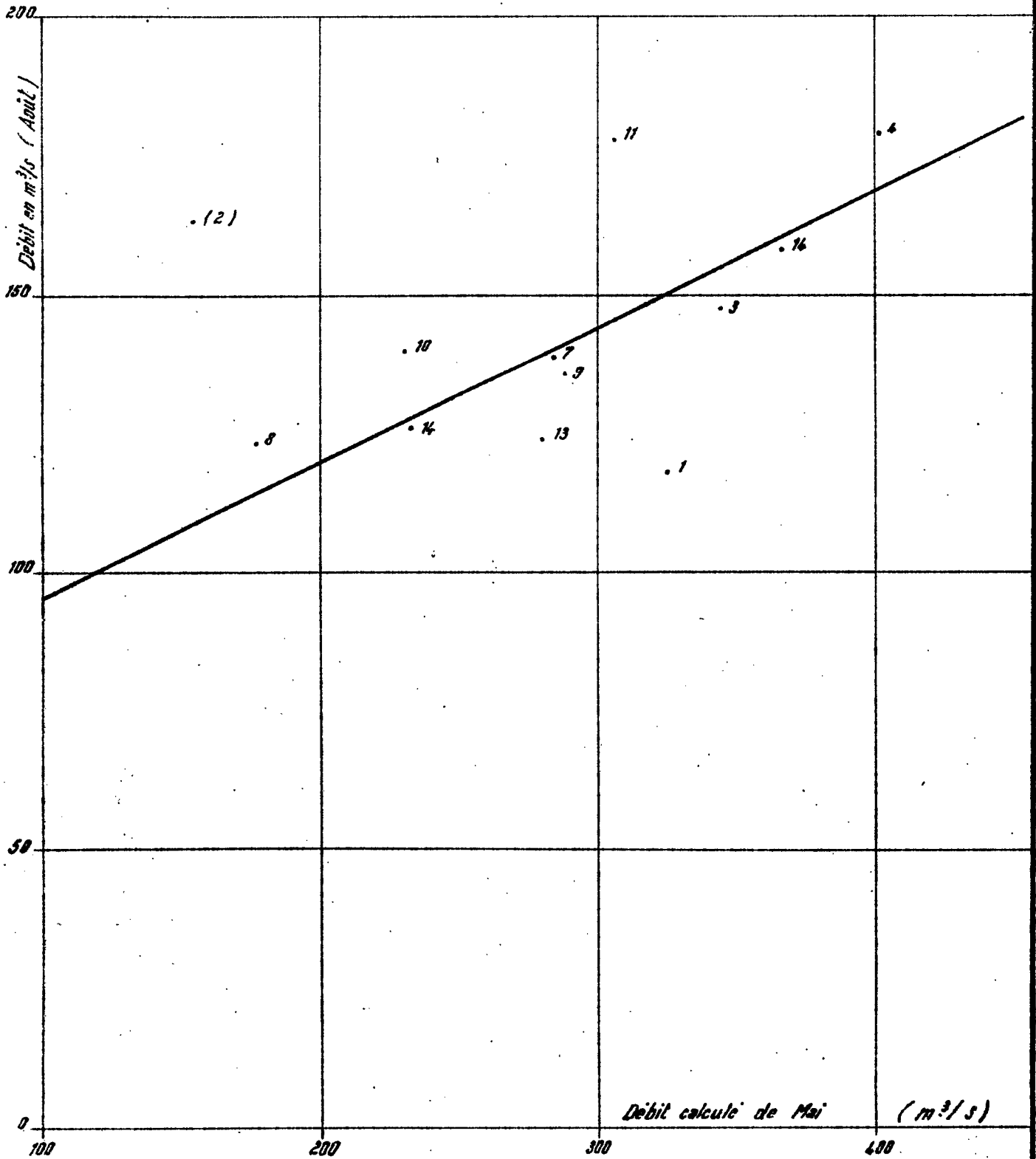
Le facteur principal est le débit calculé de Mai (graphique 12). Les corrections dues aux pluies de Septembre et Octobre sont traduites par le graphique 12 bis. On notera que le facteur pluie de Septembre + pluie d'Octobre peut devenir prédominant si ces mois ont été normalement arrosés comme c'est le cas en 1958 (point 10).

Les corrections des pluies de Septembre et Octobre correspondant au point 14 n'ont pas pu être effectuées car les résultats pluviométriques concernant ces mois ne nous étaient pas encore parvenus pour 1962 au moment des calculs.

L'ensemble des graphiques 1 à 12 permet d'établir le tableau VII des débits mensuels à partir de la pluviométrie. Il faut toutefois le vérifier au cours de l'emploi de ces graphiques. En effet, ils ont été établis dans des

IKOPA A ANTSATRANA

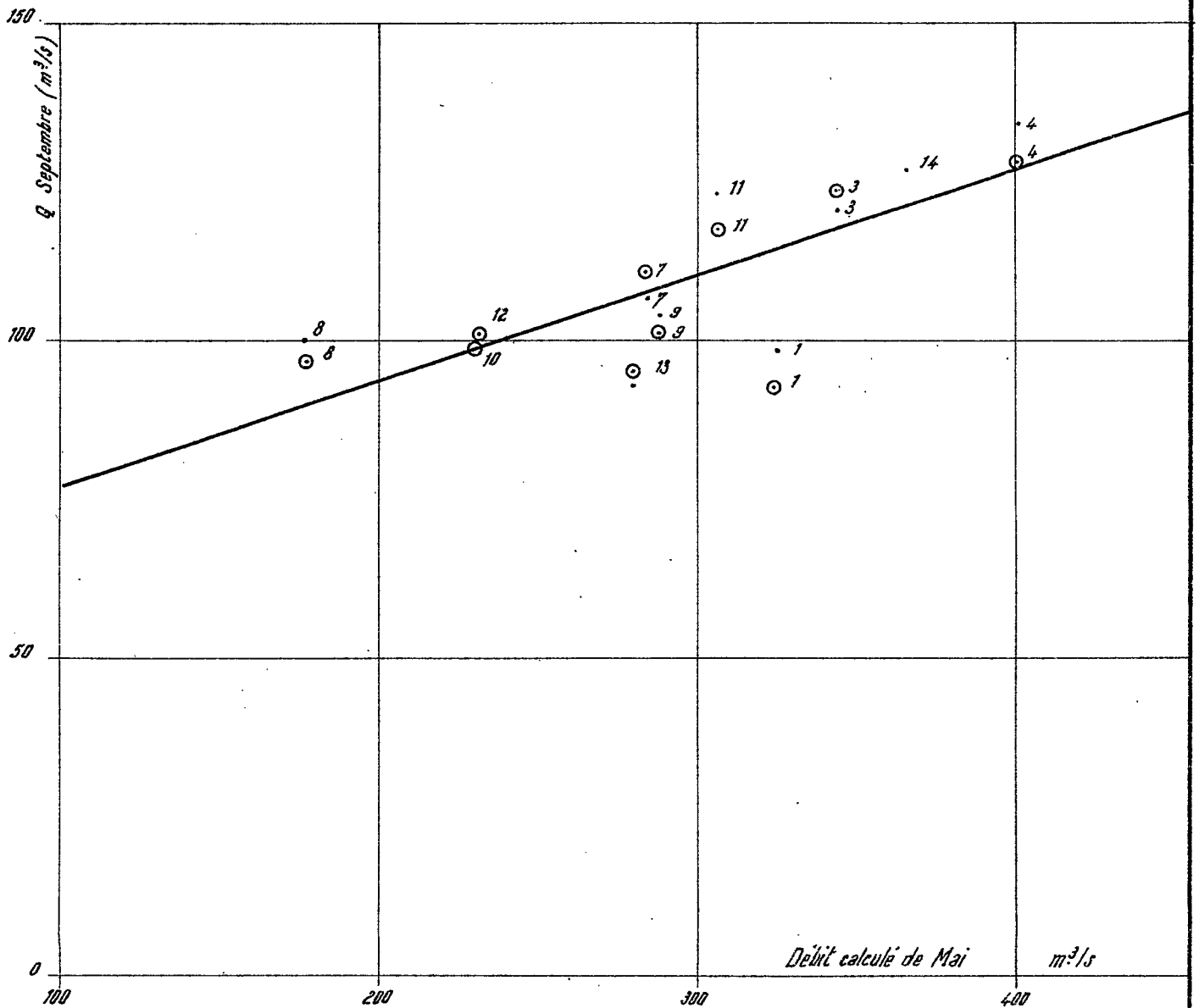
Août



IKOPA A ANTSATRANA

Septembre

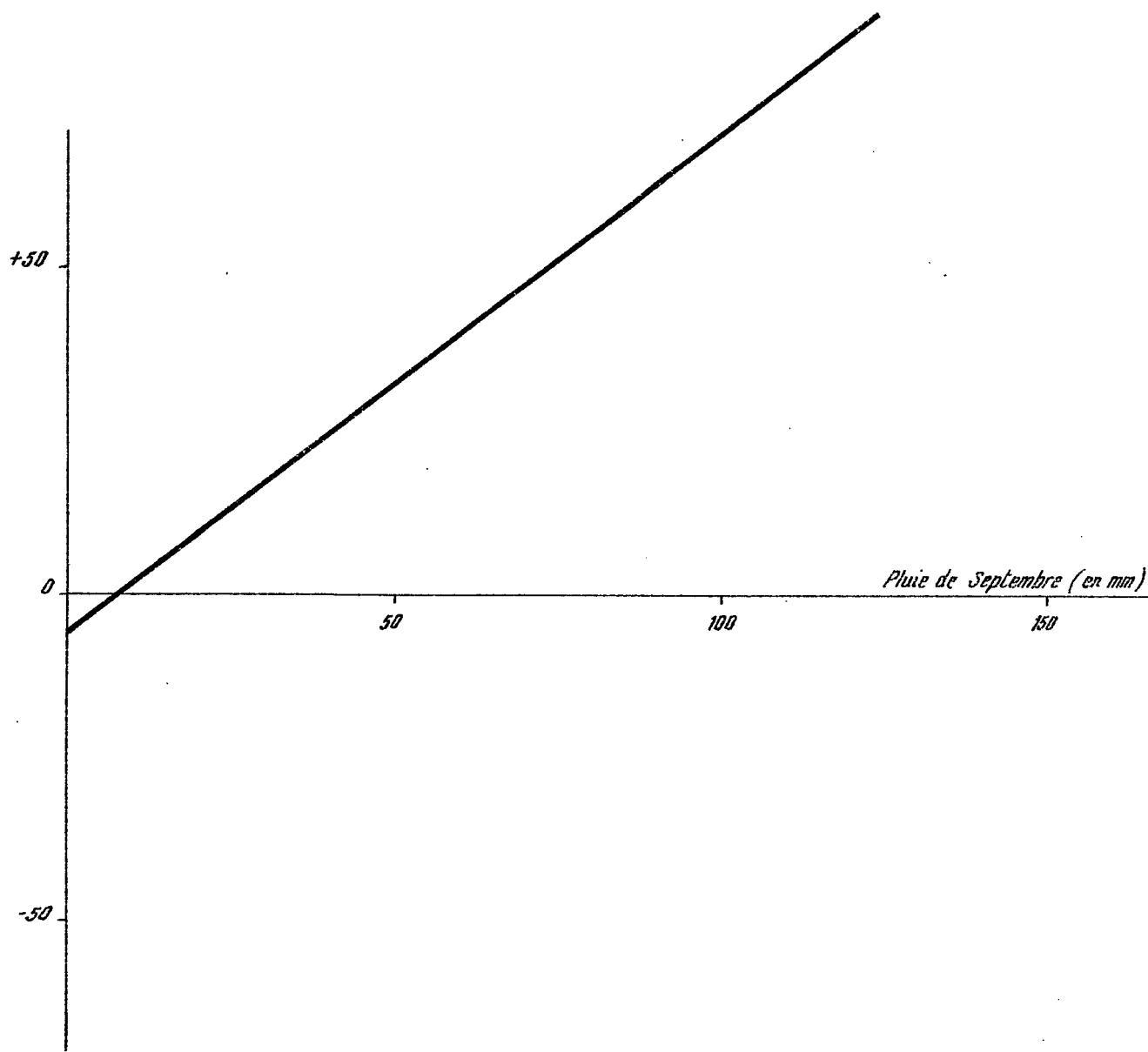
• 10



IKOPA A ANTSATRANA

Courbe de correction

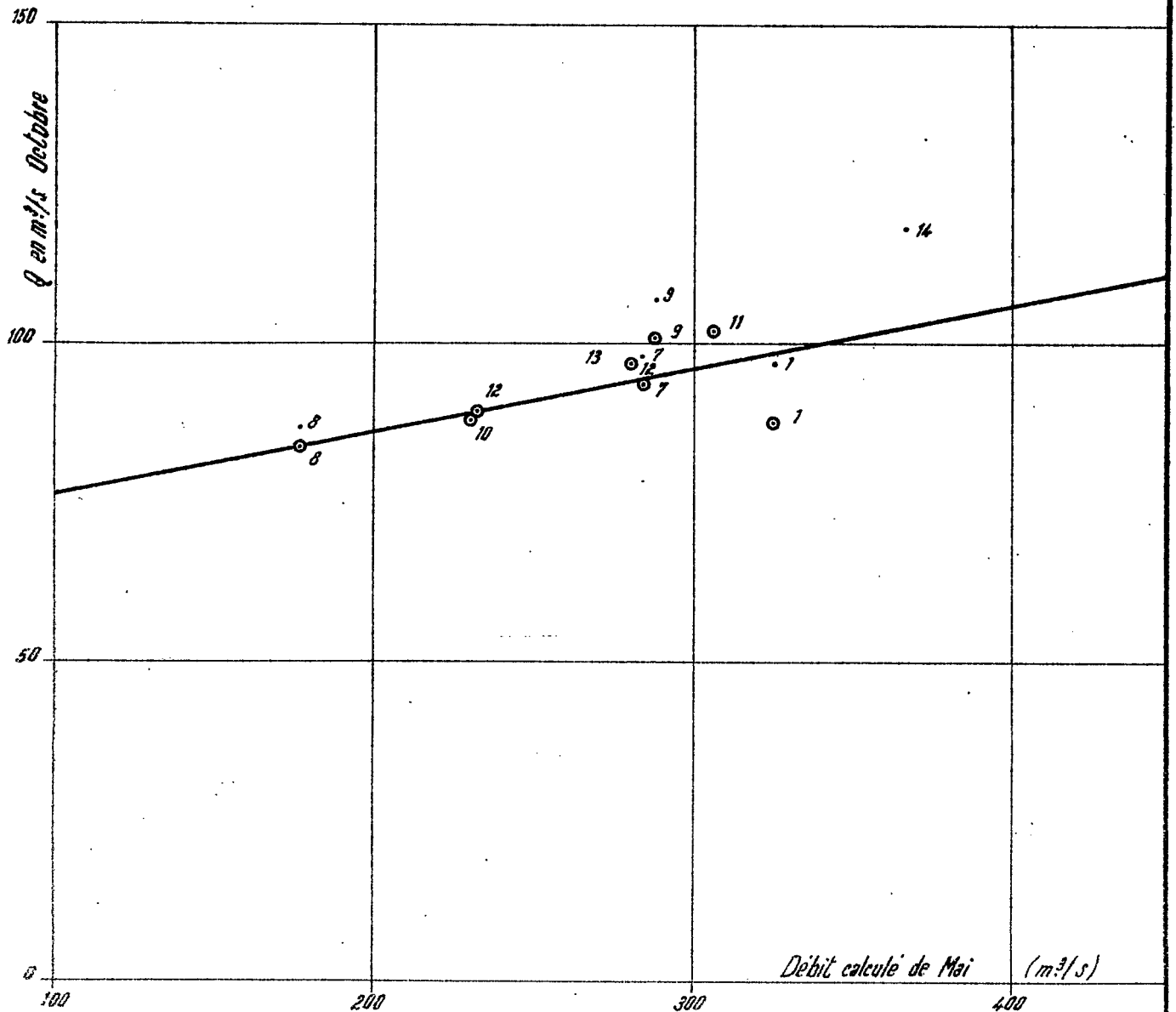
Facteur : Pluie de Septembre



IKOPA A ANTSATRANA - OCTOBRE

Facteur principal : Débit. calculé de Mai

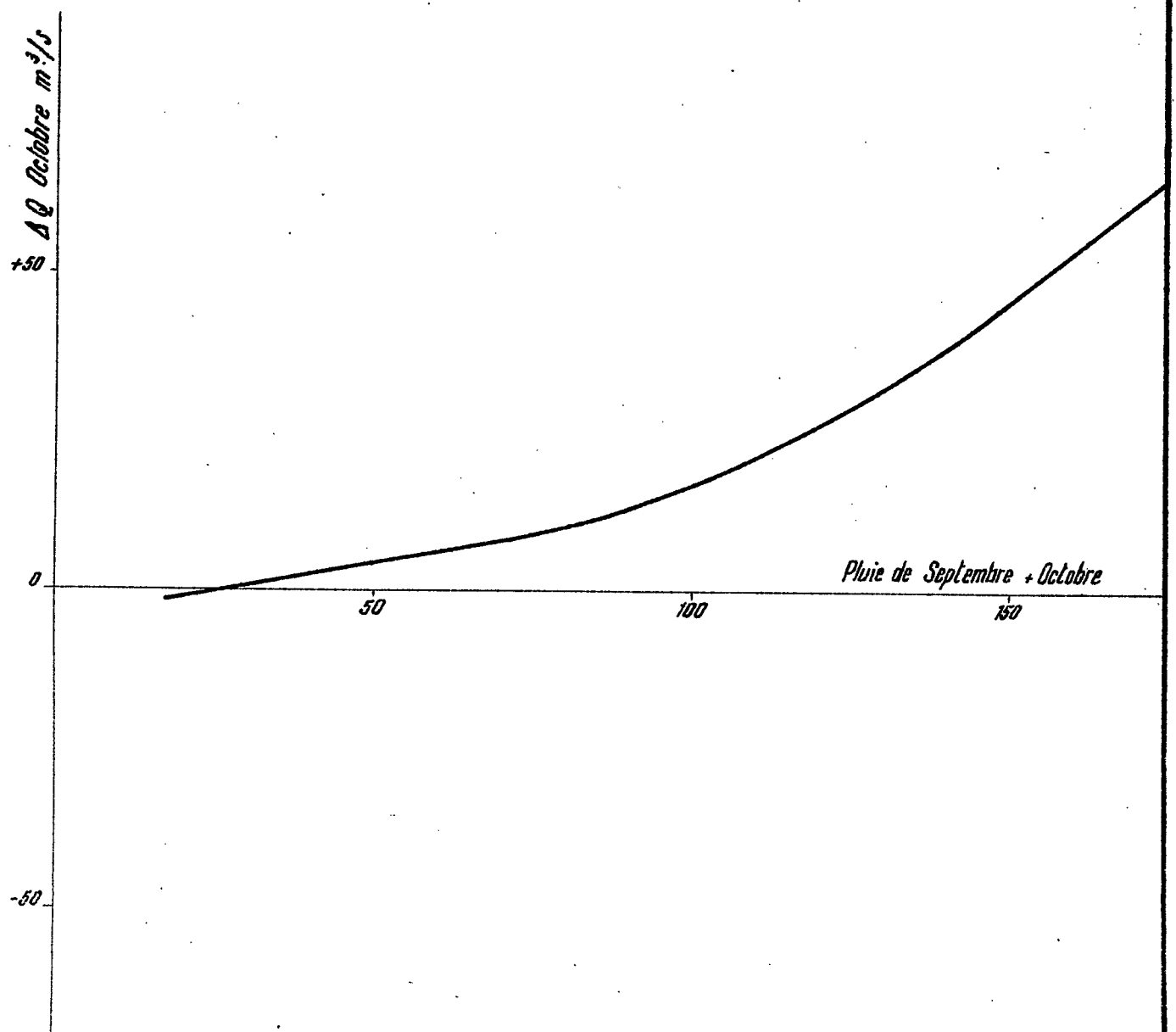
. 10



IKOPA A ANTSATRANA - OCTOBRE

Courbe de correction

Facteur : Pluie de Septembre + Octobre



limites bien définies des valeurs des paramètres ; une extrapolation trop poussée vers le bas ou vers le haut des courbes de régression se rapportant soit au facteur conditionnel principal, soit aux facteurs correctifs, risque en certains cas d'être dépourvue de sens. Lorsque le cas s'est produit, nous avons remplacé le chiffre trouvé par une valeur plus vraisemblable en vue de la série des débits mensuels. Les nombres correspondant sont indiqués sur le tableau VII entre doubles parenthèses : ils figurent uniquement pour permettre le calcul du débit moyen annuel, l'erreur faite sur l'estimation de chacun d'eux se trouvant alors considérablement réduite dans le résultat final. Les valeurs des paramètres complexes utilisés pour les corrélations pluies débits figurent sur le tableau VIII.

Les débits annuels ou modules calculés sont tirés de la moyenne des débits mensuels calculés.

L'étude précédente permet de combler avec plus de chances de succès les lacunes du tableau IV des débits moyens mensuels observés présenté dans le volume B de cette monographie; les nouvelles valeurs figurent sur le tableau IX. Les débits calculés à partir d'observations hydrométriques incomplètes sont entre simples parenthèses tandis que les débits estimés à partir des corrélations hydropluviométriques ont été mis entre doubles parenthèses.

Les débits mensuels calculés pour la période 1938-39 à 1947-48 par régressions hydropluviométriques sont, par effet de moyenne dû précisément à l'emploi des régressions, moins dispersés que le seraient ceux d'un échantillon naturel. Pour certaines applications, en particulier pour l'étude du fonctionnement simulé d'un aménagement, il serait souhaitable de rendre l'échantillon calculé plus vraisemblable, ou si l'on veut plus conforme à la nature, en introduisant à nouveau des écarts aléatoires par tirage au sort au moyen d'une table de nombres au hasard dans des lois de probabilité tirés de la répartition statistique des écarts observés entre débits mesurés et débits calculés, ces écarts étant au préalable randomisés s'il y a lieu.

TABLEAU VII

DEBITS MENSUELS CALCULES à PARTIR de la PLUVIOMETRIE
IKOPA à ANTSATRANA

Années	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	Mod
1938-39	(150)	435	1080	1510	1420	930	290	200	169	142	122	105	546
1939-40	404	740	1365	1030	780	346	274	192	163	138	109	110	471
1940-41	174	585	1270	1800	1275	582	312	216	178	147	121	124	565
1941-42	193	365	925	1365	845	230	244	175	152	131	109	106	403
1942-43	207	490	1230	1200	1040	628	317	220	180	148	112	102	490
1943-44	100	370	280	950	1195	797	202	151	136	120	92	97	374
1944-45	152	560	710	1110	1070	712	288	200	168	141	108	109	444
1945-46	162	360	910	1610	1285	698	276	192	164	138	104	115	501
1946-47	770	550	1050	1140	1120	756	368	284	199	160	119	113	552
1947-48	158	440	1050	1390	955	454	362	275	197	159	133	122	475
1948-49	194	370	((200))	1040	925	595	291	202	170	142	120	108	363
1949-50	173	385	930	545	735	120	158	126	118	110	85	86	298
1950-51	172	465	1110	625	1025	566	345	250	190	155	115	108	427
1951-52	312	440	980	1315	1065	662	400	338	211	168	133	108	512
1952-53	222	445	650	825	1195	630	240	172	150	130	103	92	405
1953-54	97	490	985	835	825	((800))	182	140	128	115	90	87	356
1954-55	142	530	925	1550	1395	592	284	198	167	140	104	99	511
1955-56	126	550	920	705	465	((200))	180	138	127	115	94	87	309
1956-57	165	620	665	1130	1350	835	290	200	169	142	112	101	482
1957-58	144	400	965	880	945	404	228	166	146	127	161	160	394
1958-59	250	645	1185	845	1400	740	302	208	174	145	117	96	509
1959-60	368	475	1050	810	980	350	232	168	147	128	99	90	408
1960-61	90	610	1060	335	750	553	280	195	165	139	105	95	365
1961-62	152	750	1420	980	1145	708	362	275	196	159	((125))	((110))	532

TABLEAU VIII

VALEUR des DIFFERENTS PARAMETRES PLUVIOMETRIQUES COMPLEXES
pour la PERIODE 1938-39 à 1961-62

(pluies exprimées en mm)

Année	Total: Sept-Oct	Total: Sept-M	$P_N \times P_D$ x10 ⁻³	$P_F \times P_{Ja}$ x10 ⁻³	$P_{Ms} \times P_F$ x10 ⁻³	$P_{Ms} \times P_F \times P_{Ja}$ x10 ⁻⁶
1938-39	78		41	166	143	72
1939-40	99	1541	109	89	53	16
1940-41	121	1851	42	214	121	66
1941-42	97	1393	23	135	51	21
1942-43	49	1669	51	156	60	36
1943-44	81	1266	13	65	121	24
1944-45	93	1426	35	88	89	24
1945-46	111	1518	20	156	123	50
1946-47	81	1630	91	95	92	27
1947-48	108	1465	31	150	57	28
1948-49	77	1241	24	45	122	13
1949-50	50	1224	27	65	37	16
1950-51	67	1489	50	75	51	25
1951-52	33	1468	48	127	75	31
1952-53	33	1389	51	74	97	27
1953-54	41	1286	35	92	50	18
1954-55	50	1700	55	135	168	57
1955-56	42	1212	42	77	26	9
1956-57	62	1623	68	77	160	34
1957-58	184	1342	31	102	56	24
1958-59	26	1825	45	96	112	44
1959-60	31	1419	64	92	61	24
1960-61	31	1322	40	44	39	13
1961-62		1606	79	94	85	29

TABLEAU IX

IKOPA à ANTSATRANA

Débits moyens mensuels observés
(m³/s)

Année	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	Module
1948-49	(194)	373	((200))	1040	854	405	289	168	147	118	97	97	332
1949-50	(173)	(498)	((930))	901	((735))	(120)	159	110	114	163	((85))	((86))	339
1950-51	167	((465))	1124	627	1042	556	341	229	182	148	121	((108))	426
1951-52	298	(441)	((980))	1314	1083	672	401	341	210	179	(134)	((108))	513
1952-53	323	708	((650))	((825))	1682	689	411	288	235	(180)	((105))	112	517
1953-54	176	(500)	(980)	((835))	1314	520	365	272	211	161	115	110	463
1954-55	153	580	910	1037	1396	576	261	189	156	139	107	98	462
1955-56	(126)	((550))	((920))	((705))	462	(200)	184	148	183	123	100	87	316
1956-57	155	560	666	1137	1357	661	279	221	194	136	104	107	464
1957-58	149	400	961	882	1037	402	240	220	174	140	161	160	410
1958-59	252	633	184	795	1406	764	367	269	229	178	123	102	525
1959-60	377	472	1053	828	944	373	235	190	153	126	101	87	411
1960-61	81	617	1082	337	722	553	271	165	152	124	93	91	357
1961-62	114	1536	934	997	1174	708	368	249	192	158	127	118	556
Moyennes	195	595	898	876	1086	514	298	218	181	148	112	105	435

III - ETUDE des MODULES -

Au cours de cette étude, on supposera que la répartition statistique des modules suit une loi normale. Cette hypothèse est vérifiée expérimentalement sur la plupart des longues séries étudiées pour des bassins tropicaux africains d'une certaine étendue ; seuls font exception les bassins très peu arrosés et les bassins contenant de grandes plaines d'inondation.

Seuls les modules de l'IKOPA à ANTSATRANA ont été étudiés de façon rigoureuse. Pour l'IKOPA à BEVOMANGA, un peu marginal dans cette monographie, on s'est contenté d'estimations moins approfondies tendant à dégager les grandes lignes du régime. Une étude plus détaillée des corrélations hydropluviométriques devrait être incluse dans une monographie de l'IKOPA supérieur et de la plaine de TANANARIVE. Quant aux stations de FIADANANA sur l'IKOPA et d'AMBODIROKA sur la BETSIBOKA, les périodes d'observations hydrométriques sont encore trop courtes pour permettre une étude hydropluviométrique détaillée ; on a dû se contenter d'estimations plus sommaires. Cela ne veut pas dire que les extensions auxquelles il sera procédé sont dénuées d'intérêt ; ces extensions, même basées sur des corrélations moins élaborées, permettent de préciser le régime de façon très appréciable.

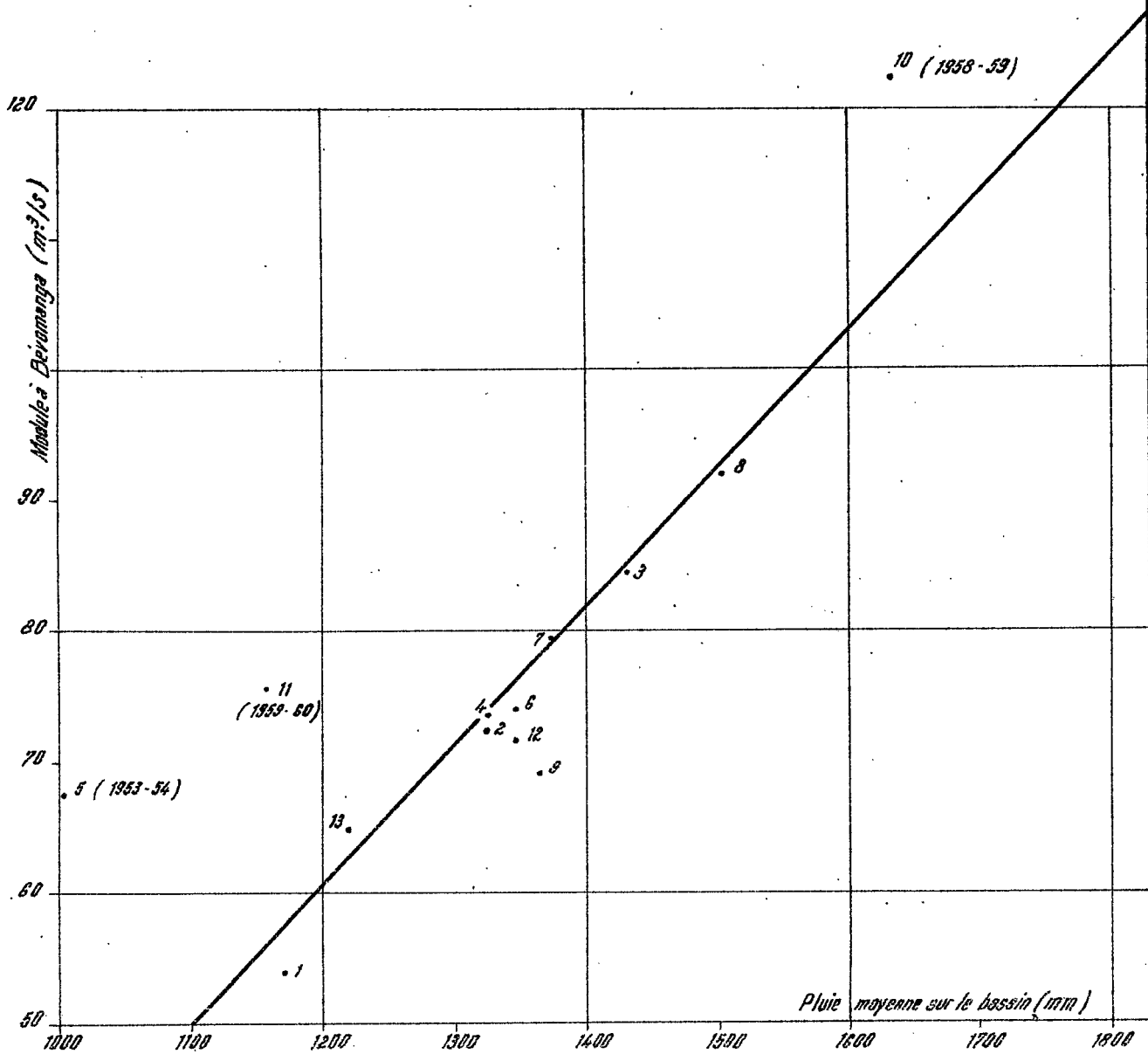
1 - IKOPA à BEVOMANGA -

Les modules observés à BEVOMANGA pour la période 1949-50 à 1961-62 sont répartis sur le graphique 13 en regard des pluviométries annuelles calculées sur le tableau I. Pour des facilités de représentation, les points correspondant à chacune des années hydrologiques sont numérotés de 1 à 13.

Le tracé de la droite de régression tient compte surtout des 10 points les mieux groupés. Les points 5 (1953-54), 10 (1958-59) et 11 (1959-60), apparaissent ainsi comme anormalement forts. Une étude de corrélations mensuelles analogue à celle qui a été faite pour ANTSATRANA ferait certainement

IKOPA A BÉVOMANGA

Corrélation Modules - pluies annuelles



ressortir les raisons de cette dispersion. Un ajustement par les moindres carrés donnerait une importance exagérée à ces points. Si l'on s'en tient aux pluies annuelles comme seul facteur conditionnel, il est préférable, pour les besoins d'éventuels projeteurs, d'opérer dans le sens d'une légère sous-estimation, d'ailleurs peu importante.

Si l'on désigne par Q le module exprimé en m^3/s et par P la pluviométrie moyenne annuelle sur le bassin exprimé en mm, la relation de régression peut s'écrire sous la forme :

$$Q = 0,106 P - 67$$

Les paramètres statistiques de la distribution de P , supposée normale, sont estimés à :

$$\text{Moyenne } \bar{P} = 1\,360 \text{ mm}$$

$$\text{Ecart type } s_P = 200 \text{ mm}$$

d'où les paramètres de la distribution de Q :

$$\text{Moyenne } \bar{Q} = 0,106 \bar{P} - 67 = \frac{77}{1} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Ecart type } s_Q = 0,106 s_P = \frac{21,2}{1} \text{ m}^3/\text{s}$$

L'irrégularité interannuelle du module de l'IKOPA à BEVOMANGA peut être définie par :

- le coefficient de variation :

$$C_V = \frac{s_Q}{\bar{Q}} = 0,275$$

- le rapport des déciles extrêmes :

$$K_3 = 2,10$$

Ces résultats montrent que l'estimation à partir des 24 ans de relevés pluviométriques est la même que pour les 13 ans de relevés hydrométriques. L'intervalle de confiance à 95 % de l'estimation du module moyen peut être pris

égal à $\pm 9 \text{ m}^3/\text{s}$, ce qui veut dire que l'on aurait approximativement 95 % de chances d'avoir pour BEVOMANGA un module moyen réel compris entre 68 et 86 m^3/s . Cet intervalle de confiance se trouve resserré par la prise en compte des résultats pluviométriques. La seule considération des relevés hydrométriques conduirait à un intervalle de confiance à 95 % d'environ $\pm 12 \text{ m}^3/\text{s}$.

Les données précédentes peuvent être légèrement modifiées par une étude plus détaillée.

2 - IKOPA à FIADANANA -

On dispose seulement de 4 années d'observations hydrométriques. Il faut donc s'attendre à une estimation beaucoup plus sommaire des paramètres statistiques caractérisant les modules.

Les modules disponibles sont reportés sur le graphique 14 en regard de la pluviométrie moyenne annuelle sur le bassin tirée du tableau IV. La droite de régression tracée sur le graphique ne peut être que très approximative encore que l'on soit favorisé par la présence de l'année forte 1958-59. On adoptera provisoirement la formule :

$$Q = 0,31 P - 273$$

L'échantillon des valeurs de P figurant sur le tableau IV admet pour moyenne :

$$\bar{P} = 1431 \text{ mm}$$

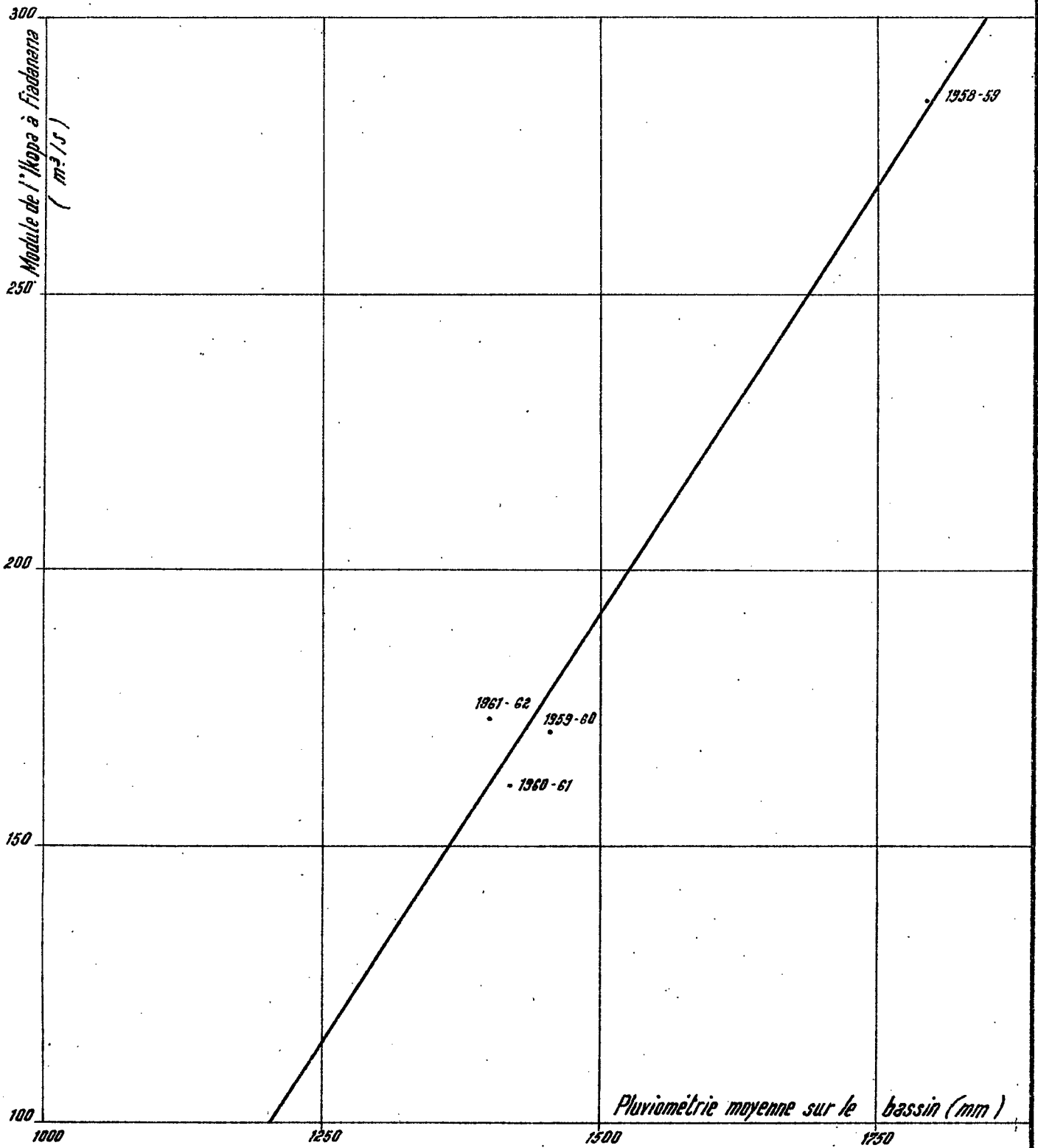
et comme écart type :

$$s_P = 195 \text{ mm}$$

Ce qui donne pour Q les caractéristiques suivantes :

Moyenne	$\bar{Q} = 0,31 \bar{P} - 273 = \frac{170}{\text{m}^3/\text{s}}$
Ecart type	$s_Q = 0,31 s_P = \frac{60,5}{\text{m}^3/\text{s}}$

CORRÉLATION MODULES PLUIES ANNUELLES



Le module moyen calculé sur les 4 années d'observations hydrologiques est de $197 \text{ m}^3/\text{s}$. Etant donné la faible dimension de l'échantillon des débits, il n'est pas possible de tester la valeur de l'estimation de $170 \text{ m}^3/\text{s}$ ni d'en indiquer l'intervalle de confiance. On peut cependant être certain que cette estimation est meilleure que celle de $197 \text{ m}^3/\text{s}$. Quant à l'écart type, il n'est même pas question d'en calculer une valeur estimée au vu des 4 modules observés.

Les résultats conduisent pour l'irrégularité inter-annuelle aux estimations suivantes données sous toutes réserves:

$$C_V = 0,375$$

$$K_3 = 2,70$$

On verra plus loin ce qu'on peut penser de ces valeurs.

3 - IKOPA à ANTSATRANA -

Les paramètres représentant la pluviométrie sont fournis par les modules calculés figurant sur le tableau VII. Ces paramètres sont représentés sur le graphique 15 en regard des modules observés pour la période 1948-49 à 1961-62. Si on élimine les années 1952-53 et 1953-54 considérées comme suspectes, le coefficient de corrélation est de 0,955 et l'équation de régression :

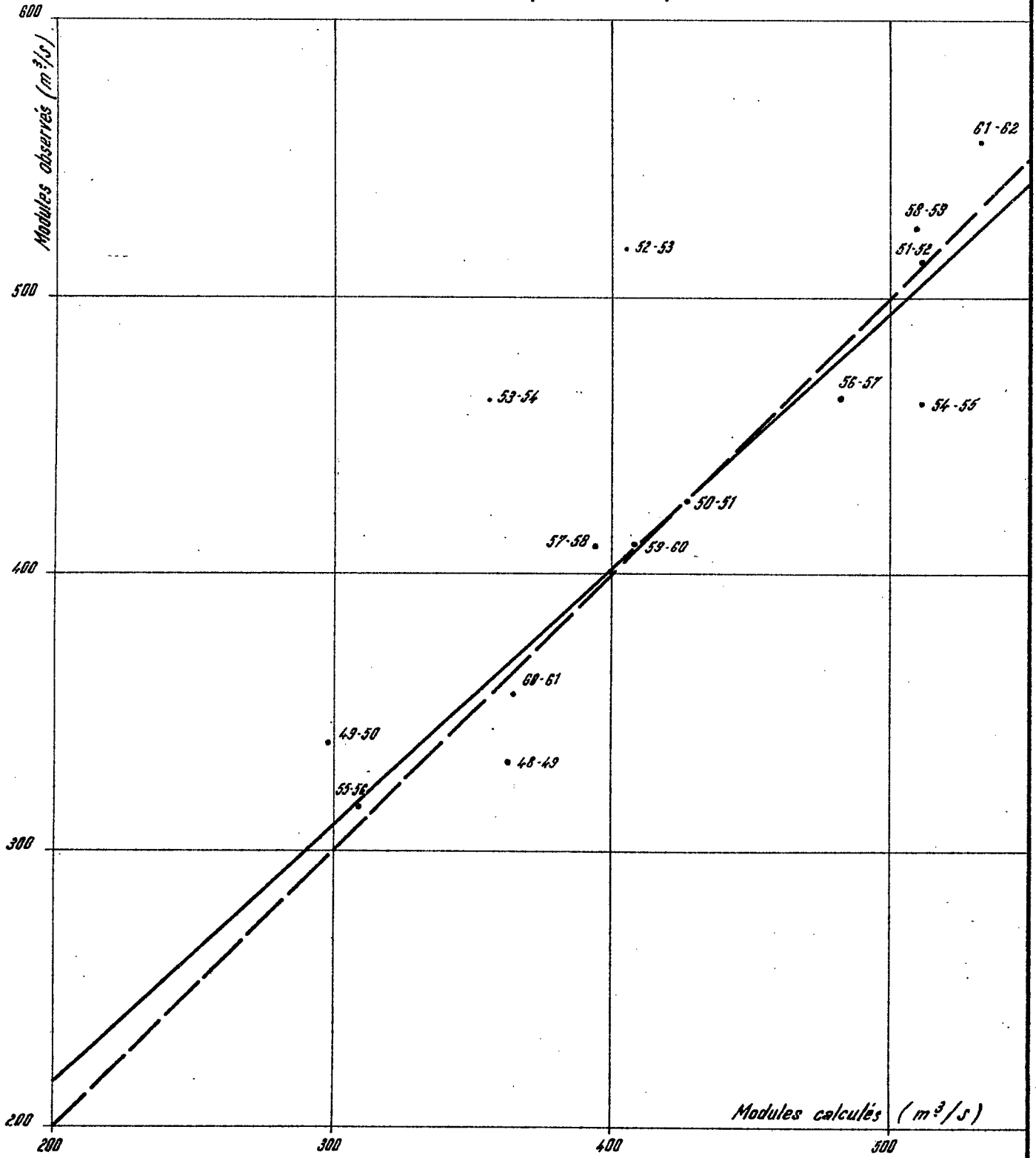
$$Y = 0,928 X + 31$$

Y désignant le module réel et X le module calculé à partir de la pluviométrie ; les deux sont exprimés en m^3/s .

Si on désigne par k le nombre d'années communes d'observations des pluies et des débits et par n le nombre d'années sur lequel portent les observations pluviométriques, on a :

IKOPA A ANTSATRANA

Corrélation entre les modules observés
et les modules calculés à partir des pluies mensuelles



$$\begin{aligned}
 \bar{X}_k &= 426 & \text{m}^3/\text{s} \\
 k^S X &= 82,5 & \text{m}^3/\text{s} \\
 \bar{Y}_k &= 426 & \text{m}^3/\text{s} \\
 k^S Y &= 80,2 & \text{m}^3/\text{s} \\
 k^r_{XY} &= 0,955 & \text{m}^3/\text{s} \\
 \bar{X}_n &= 451 & \text{m}^3/\text{s} \\
 n^S X &= 78 & \text{m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

D'où l'estimation du module moyen compte tenu des observations pluviométriques :

$$\hat{Y} = \bar{Y}_k - k^r_{XY} \frac{k^S Y}{k^S X} (\bar{X}_k - \bar{X}_n) = 449 \text{ m}^3/\text{s}.$$

La nouvelle estimation de l'écart type conduirait à une valeur de 76,3 m³/s. Cette estimation étant entachée d'une erreur systématique par défaut due à l'emploi de la méthode et étant inférieure à l'estimation précédente de 80,2 m³/s, cette dernière valeur doit être conservée.

On admettra en définitive que les modules de l'IKOPA à ANTSATRANA sont caractérisés par :

- une valeur moyenne de $\frac{450 \text{ m}^3/\text{s}}$
- un écart type de $\frac{80 \text{ m}^3/\text{s}}$

L'efficacité relative des estimations \bar{Y}_k et \hat{Y} est donnée par la relation :

$$E = 1 + \left(1 - \frac{k}{n}\right) \left[\frac{1 - (k-2) r^2}{k-3} \right]$$

ce qui, avec : $k = 12$ et $n = 22$ (on n'a pas tenu compte des années 1952-53 et 1953-54), donne : $E = 0,589$.

Il en résulte que le nombre réel d'années de la période d'extension est égal à $\frac{12}{0,589} = 20$ ans. L'écart type aléatoire d'estimation est égal à $\frac{80}{\sqrt{20}} \neq 18 \text{ m}^3/\text{s}$ et l'intervalle de confiance à 95 % est sensiblement de $\pm 35 \text{ m}^3/\text{s}$. La valeur vraie du module a donc 95 % de chances d'être comprise dans l'intervalle 415 - 485 m^3/s .

L'irrégularité interannuelle peut être estimée par un coefficient de variation :

$$C_V = 0,178$$

ou un coefficient d'irrégularité interannuelle :

$$K_3 = 1,58$$

Ces chiffres, comparés à ceux de BEVOMANGA et ceux de FIADANANA, montrent qu'il y a toutes les chances du monde pour que l'écart type donné pour FIADANANA soit très largement surestimé, ce qui montre bien le danger que présentent les valeurs caractéristiques tirées d'un échantillon de débits trop réduit, même si on dispose par ailleurs d'une série pluviométrique d'assez longue durée. Seule la poursuite des observations permettra, dans 4 ou 5 ans, de se faire une idée plus exacte des caractéristiques de FIADANANA. En attendant, le mieux qu'on puisse faire est d'adopter un coefficient de variation compris entre celui de BEVOMANGA et celui d'ANTSATRANA, mais plus près toutefois du premier que du second. En effet, la plaine de TANANARIVE, avec la régularisation qu'elle comporte, doit avoir quelque influence sur le régime à BEVOMANGA et le coefficient de variation lié à cette station ne doit pas être très élevé, toutes choses égales d'ailleurs, compte tenu de la superficie du bassin.

Par contre, l'estimation du module moyen est moins sensible à une variation de pente de la droite de régression : on pourra donc, faute de mieux, conserver la valeur précédemment estimée. Les caractéristiques de FIADANANA se trou-

veront ainsi modifiées de la façon suivante :

module moyen : $170 \text{ m}^3/\text{s}$
coefficient de variation: $0,25$ ($K_3 = 1,95$)
écart-type : $43 \text{ m}^3/\text{s}$

Il s'agit là, bien entendu, d'évaluations tout à fait provisoires qui demanderont à être confirmées, ou infirmées, par des observations ultérieures.

4 - BETSIBOKA à AMBODIROKA -

Cette station n'est guère plus favorisée que FIADANANA puisqu'il n'existe que 5 années d'observations directes. Cependant, les points sont mieux répartis dans la gamme des modules. Les estimations seront données avec presque autant de réserves que pour FIADANANA.

Le graphique 16 montre la droite de régression obtenue en minimisant la somme des valeurs absolues des écarts. Son équation est :

$$Q = 0,4 P - 295$$

Les caractéristiques statistiques de l'échantillon de P fourni par le tableau VI sont :

Valeur moyenne $\bar{P} = 1\ 470 \text{ mm}$
Ecart-type $s_p = 189 \text{ mm}$

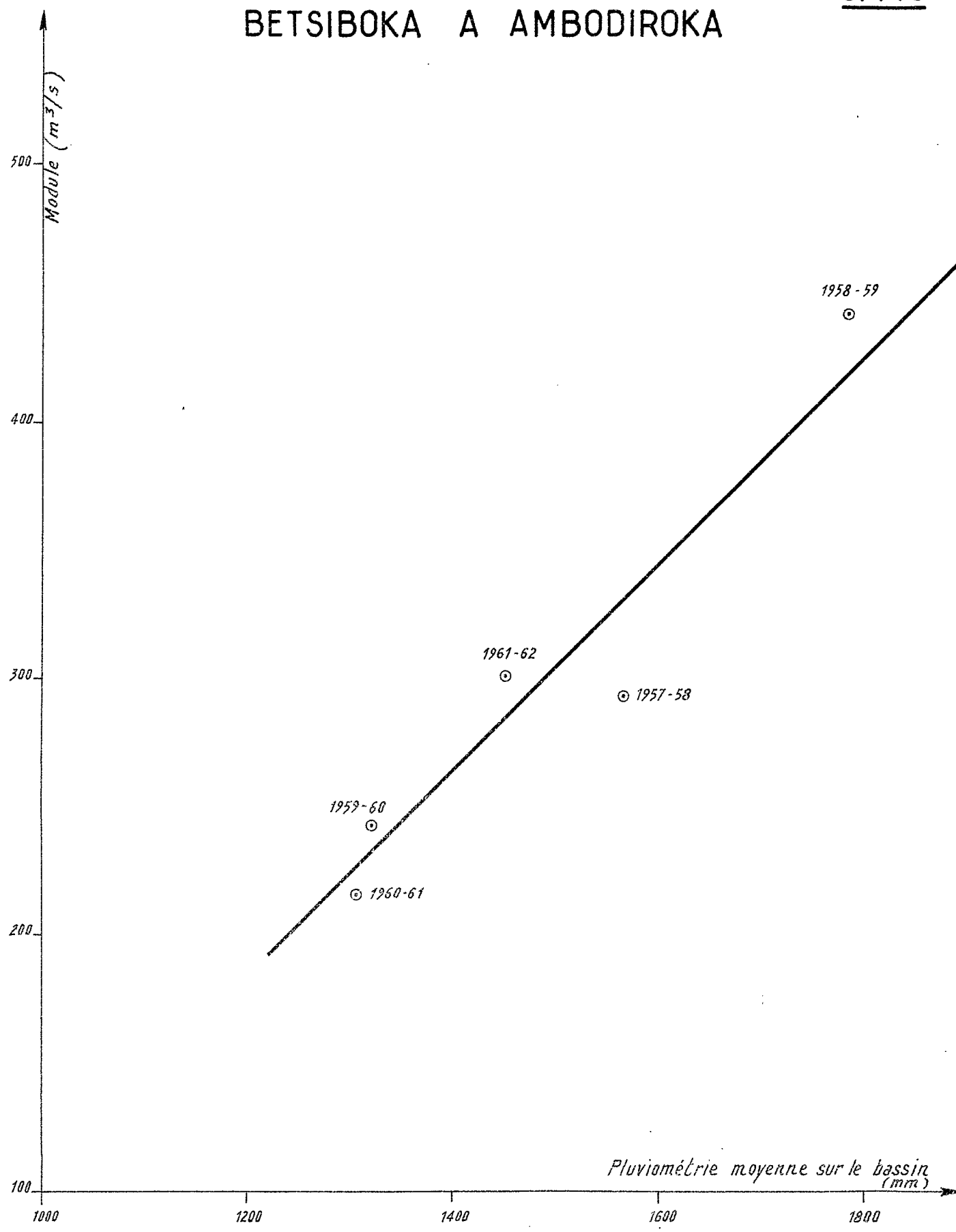
ce qui conduit pour les modules, si on admet la régression indiquée ci-dessus, aux valeurs :

Module moyen = $0,4 \bar{P} - 295 \neq 295 \text{ m}^3/\text{s}$
Ecart-type = $0,4 \cdot s_p \neq 75 \text{ m}^3/\text{s}$

d'où le coefficient de variation :

$$C_V = 0,255$$

BETSIBOKA A AMBODIROKA



et un coefficient d'irrégularité interannuelle :

$$K_3 = 2,0$$

Là encore, il semble que les valeurs soient fortes. Mais on ne dispose pas de points de repères aussi nets que pour FIADANANA et il se peut, après tout, que la BETSIBOKA soit réellement plus irrégulière que l'IKOPA. Il serait donc dangereux, pour l'instant, de modifier les chiffres trouvés.

Les principales caractéristiques concernant les modules de ces rivières sont résumées dans le tableau X.

TABLEAU X

CARACTERISTIQUES PRINCIPALES des MODULES
de l'IKOPA et de la BETSIBOKA

Station	Surface du bassin versant : km ²	Module moyen : Valeur absolue : m ³ /s	Module moyen : Valeur spécifique : l/s.km ²	Intervalle de confiance : à 95 % : m ³ /s	Ecart type : m ³ /s	Coefficient de variation	K ₃
IKOPA à BEVOMANGA	4 237	77	1,82	± 9	21,2	0,275	2,10
IKOPA à FIADANANA	9 450	(170)	(1,80)	non évalué	(43)	(0,25)	(1,95)
IKOPA à ANTSATRANA	18 550	450	2,43	± 35	80	0,178	1,58
BETSIBOKA à AMBODIROKA	11 800	(300)	2,54	non évalué	(90)	(0,30)	(2,25)

Nota : les nombres entre parenthèses se rapportent à des estimations très provisoires.

CHAPITRE II

ETIAGES et BASSES EAUX

1 - ETUDE du TARISSEMENT -

En l'absence de toute précipitation, le débit d'une rivière n'est plus alimenté que par la vidange des réserves qui se sont accumulées dans le bassin durant la saison des pluies. Ces réserves peuvent être constituées par des nappes d'eau à surface libre ou par des nappes souterraines; dans le cas général, c'est cette dernière partie qui joue le rôle le plus important.

Les débits restitués varient avec le niveau des nappes et on assiste à une décroissance continue du débit dans le temps jusqu'à son annulation ou jusqu'aux prochaines pluies ; c'est ce qu'on appelle le tarissement de la rivière et le débit le plus bas atteint prend le nom d'étiage absolu. La valeur et la date d'apparition de cet étiage dépendent donc essentiellement de l'abondance de la saison des pluies qui le précède et de la répartition de ces pluies dans le temps, de la loi de tarissement qui est liée à l'ensemble des caractéristiques physiques du bassin et de la date d'apparition des premières pluies capables d'agir sur les nappes.

Si l'on se place à un instant pris comme origine des temps (temps zéro), situé dans une période où l'on soit sûr que tout le débit provient de la vidange des réserves, et si l'on appelle Q_0 le débit mesuré à cet instant, on admet, et l'expérience le confirme dans la plupart des cas, que la loi de tarissement s'exprime par la relation :

$$Q = Q_0 e^{-kt}$$

Q étant le débit à l'instant t . Dans les problèmes de tarissement, on a coutume d'exprimer t en jours.

Si la loi est vérifiée pour le bassin étudié, la courbe obtenue en portant sur un graphique Q en ordonnées logarithmiques et t en abscisses arithmétiques, est une droite dont la pente est précisément égale à k . k est appelé le coefficient de tarissement : c'est un paramètre caractéristique du bassin.

En fait, il arrive souvent que le tarissement soit interrompu par des petites crues provenant de précipitations locales. Si ces précipitations n'ont pas modifié sensiblement l'état des réserves, la courbe de tarissement est rattrappée au bout d'un temps plus ou moins long ; sinon, une nouvelle courbe de tarissement s'établit, décalée dans le sens des débits croissants et parallèle à l'ancienne si on utilise une représentation semi-logarithmique. L'analyse du faisceau des hydrogrammes de décrue en vue de la détermination du coefficient de tarissement se fait au moyen d'un réseau de droites parallèles.

Le coefficient k conserve rarement exactement la même valeur d'une année sur l'autre. Ceci est dû au fait que la répartition des réserves dans le bassin n'est pas toujours la même, puisqu'elle dépend de la répartition spatiale des précipitations et surtout de la fraction de ces précipitations qui a concouru à l'enrichissement des réserves. Mais très souvent, et c'est le cas des bassins étudiés dans cette monographie, les écarts observés sont faibles et la détermination d'une valeur moyenne de k est significative.

Dans les bassins de l'IKOPA et de la BETSIBOKA, on trouve une décroissance très nette de la valeur de k lorsqu'on se déplace d'amont en aval.

A BEVOMANGA (bassin de $4\ 237\text{ km}^2$), on trouve pour k une valeur de $0,031$.

A FIADANANA ($9\ 450\text{ km}^2$), la valeur de k a baissé de plus de moitié : $0,014$.

A ANTSATRANA ($18\ 550\text{ km}^2$), on atteint $k = 0,0063$.

Sur la BETSIBOKA, k est du même ordre, puisqu'on trouve à AMBODIROKA, station qui contrôle la presque totalité du bassin (11 800 km²), une valeur de 0,0063. De même, dans la partie inférieure de ce bassin, l'ISINKO, petit affluent qui draine 600 km², a un coefficient de tarissement de 0,0062.

Ces chiffres montrent que la variation de k ne dépend pas de la superficie du bassin drainé, mais de son altitude moyenne. Les régions hautes épuisent leurs réserves beaucoup plus rapidement que les régions basses.

II - ETUDE STATISTIQUE des ETIAGES ABSOLUS -

On ne peut trouver des relations hydropluviométriques simples concernant les étiages. Les corrélations entre ces étiages et des caractéristiques plus extensives, telles que les débits moyens mensuels, sont extrêmement lâches et les régressions que l'on pourrait établir, inutilisables.

L'étude statistique ne peut donc être conduite que sur les valeurs réellement observées. Or, les échantillons de débits observés que l'on possède sont petits, encore plus petits pour les basses eaux que pour les modules, les observations ayant été parfois négligées en période d'étiage. Il ne faut donc pas s'attendre à une grande précision et, toujours par suite de la faiblesse des échantillons les mieux fournis, il est inutile de tenter un ajustement mathématique sur une loi de probabilité. On se contentera donc de classer les données, de calculer leurs fréquences expérimentales et d'ajuster graphiquement une courbe empirique. Pour le calcul des fréquences empiriques, on adoptera la formule $\frac{n}{N+1}$,

n désignant le rang de la valeur considérée et N le nombre total d'observations. Notre formule habituelle, $\frac{n-1/2}{N}$, déforme trop les fréquences extrêmes dans le cas de petits échantillons dissymétriques.

L'échantillon le plus étendu est fourni par la station de BEVOMANGA pour laquelle on a les valeurs classées suivantes (classement dégressif) :

<u>N°</u>	<u>Débit (m³/s)</u>	<u>Fréquence</u>	<u>N°</u>	<u>Débit (m³/s)</u>	<u>Fréquence</u>
1	8,1	0,0667	8	12,9	0,538
2	8,3	0,133	9	17,8	0,600
3	8,5	0,200	10	17,8	0,667
4	9,8	0,267	11	19,6	0,733
5	11,2	0,334	12	20,1	0,800
6	11,7	0,400	13	20,6	0,867
7	12,0	0,467	14	22,0	0,934

Les points correspondants sont portés sur le graphique 17. Une courbe a été tracée de manière que les points soient à peu près équirépartis de part et d'autre. Les abscisses sont gaussiennes uniquement pour faciliter la représentation des fréquences. On en déduit les caractéristiques suivantes :

Etiage absolu médian	:	13,4 m ³ /s
Etiage absolu décennal	:	8,0 m ³ /s
Etiage absolu centenaire	:	6,7 m ³ /s (?)

Vient ensuite la station d'ANTSATRANA avec la répartition suivante :

<u>N°</u>	<u>Débit (m³/s)</u>	<u>Fréquence</u>	<u>N°</u>	<u>Débit (m³/s)</u>	<u>Fréquence</u>
1	67	0,077	7	88	0,539
2	73	0,154	8	93	0,615
3	76	0,231	9	96	0,692
4	79	0,308	10	100	0,770
5	83	0,384	11	105	0,846
6	85	0,462	12	107	0,923

O R S T O M

No

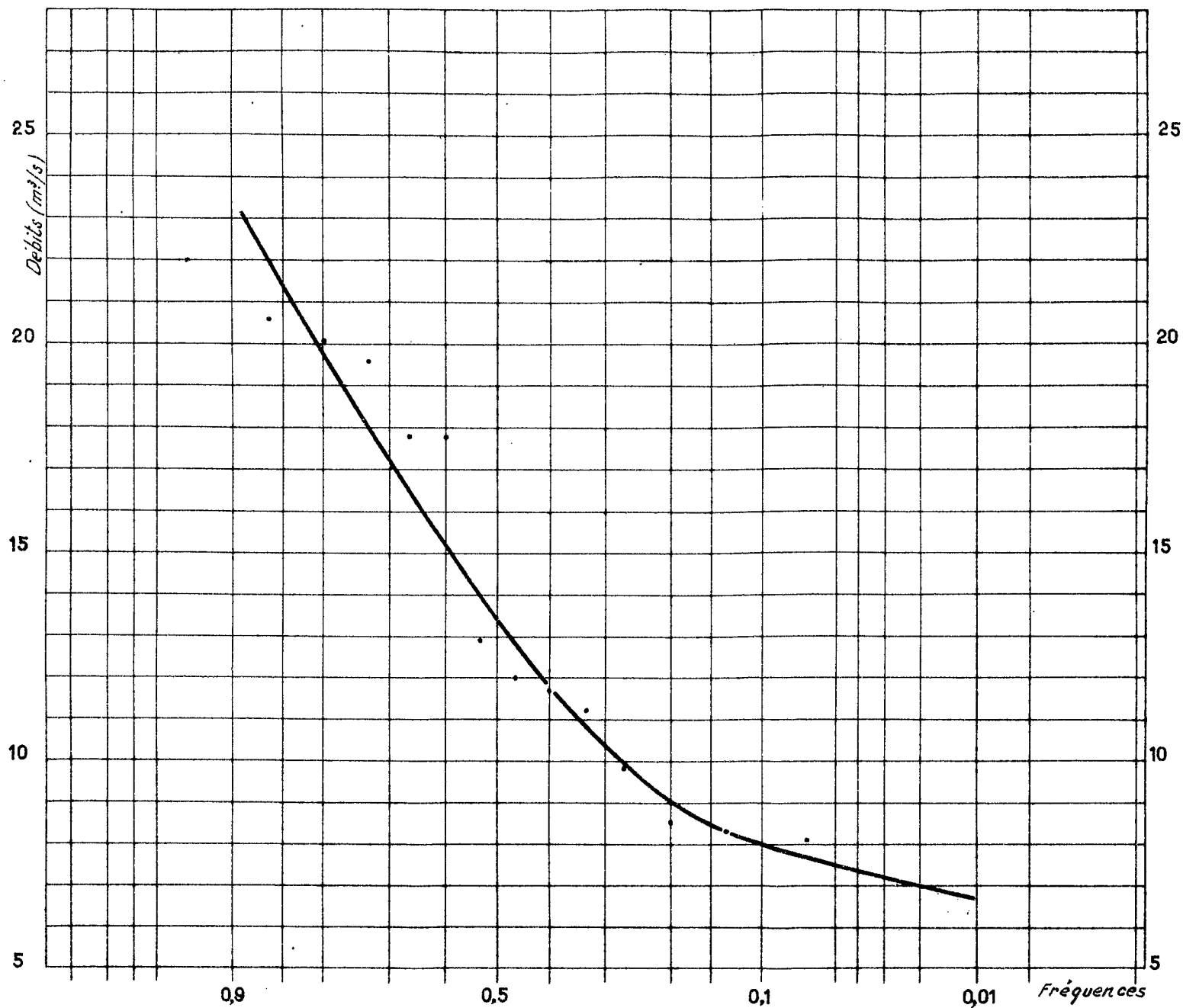
DATE: 21-11-1964

DESSIN: G. L.

MAD 171 079

IKOPA A BÉVOMANGA ——— RÉPARTITION DES ÉTIAGES ABSOLUS

Gr. 17



Les points correspondants sont portés sur le graphique 18. La courbe adoptée conduit aux valeurs suivantes :

Etiage absolu médian	:	87	m ³ /s
Etiage absolu décennal	:	69	m ³ /s
Etiage absolu centenaire	:	56	m ³ /s (?)

Pour la BETSIBOKA à AMBODIROKA, on dispose, outre les résultats de la courte période d'observations régulières, de mesures directes effectuées au voisinage de l'étiage absolu, ce qui donne un échantillon de 10 valeurs, ce qui est peu mais permet néanmoins de se faire une idée de la distribution :

N°	Débit (m ³ /s)	Fréquence	N°	Débit (m ³ /s)	Fréquence
1	43	0,091	6	59	0,545
2	50	0,182	7	60	0,636
3	51	0,272	8	60	0,727
4	53	0,363	9	83	0,818
5	56	0,454	10	86	0,909

Les points sont répartis sur le graphique 19. La courbe adoptée conduit aux valeurs suivantes :

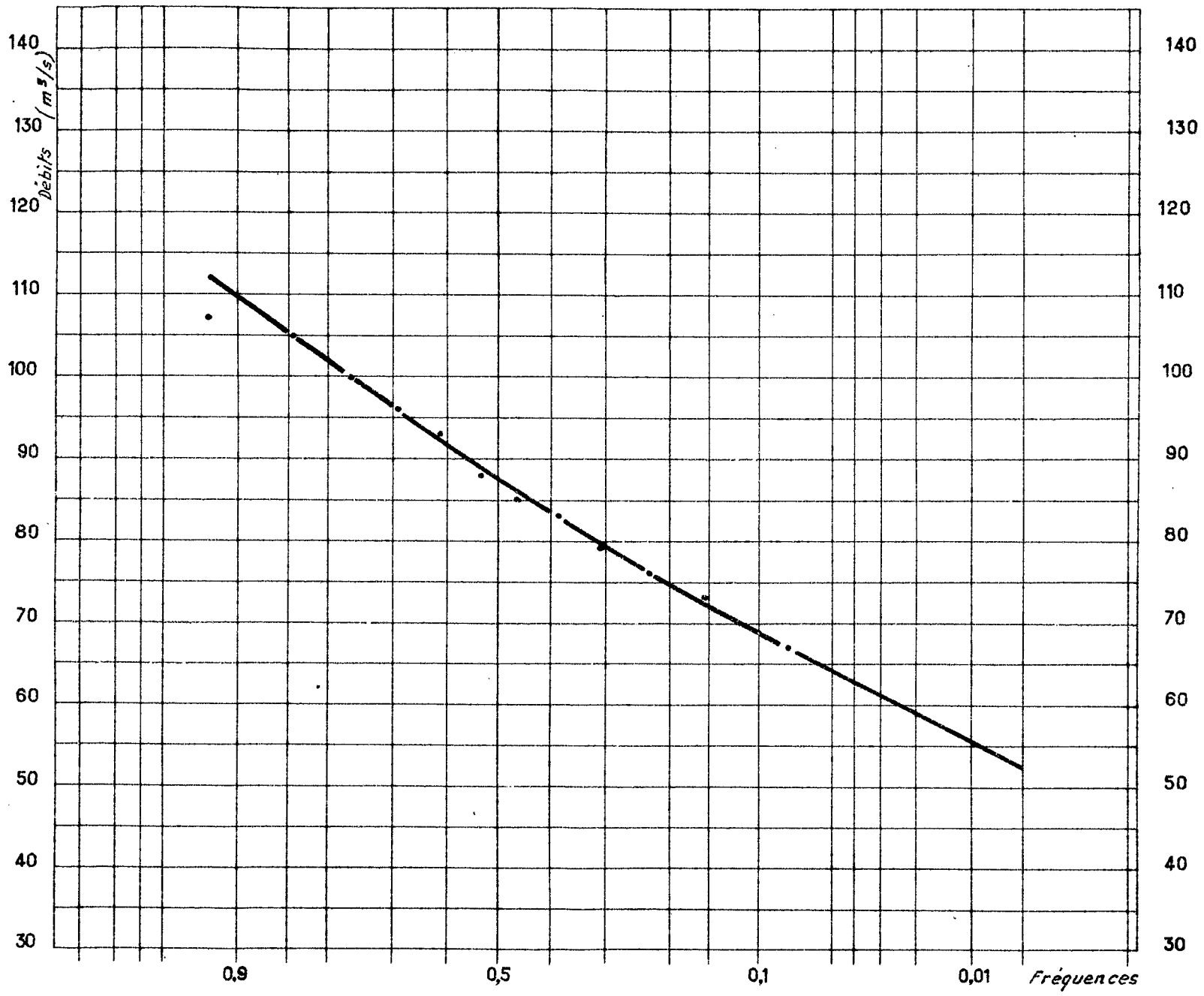
Etiage absolu médian	:	57	m ³ /s
Etiage absolu décennal	:	44	m ³ /s
Etiage absolu centenaire	:	35	m ³ /s (?)

Les périodes d'observations aux autres stations sont beaucoup trop courtes pour qu'on puisse se faire une idée, même sommaire, de la répartition statistique des étiages. On peut toutefois remarquer que les débits spécifiques des étiages semblent liés étroitement au coefficient de tarissement, comme le montre le tableau suivant :

	BEVOMANGA	ANTSATRANA	AMBODIROKA
Coefficient de tarissement	0,031	0,0063	0,0063
Valeurs spécifiques en l/s.km ²			
{ Etiage absolu médian	3,16	4,70	4,83
{ Etiage absolu décennal	1,89	3,72	3,72
{ Etiage absolu centenaire	1,58	3,02	2,97

Gr. 18

IKOPA A ANTSATRANA — RÉPARTITION DES ÉTIAGES ABSOLUS



ORSTOM

A₀

DATE: 11-11-1964

DESSINÉ: A. J. J.

MAD 171 080

BETSIBOKA A AMBODIROKA DISTRIBUTION DES ÉTIAGES ABSOLUS

Gr. 19

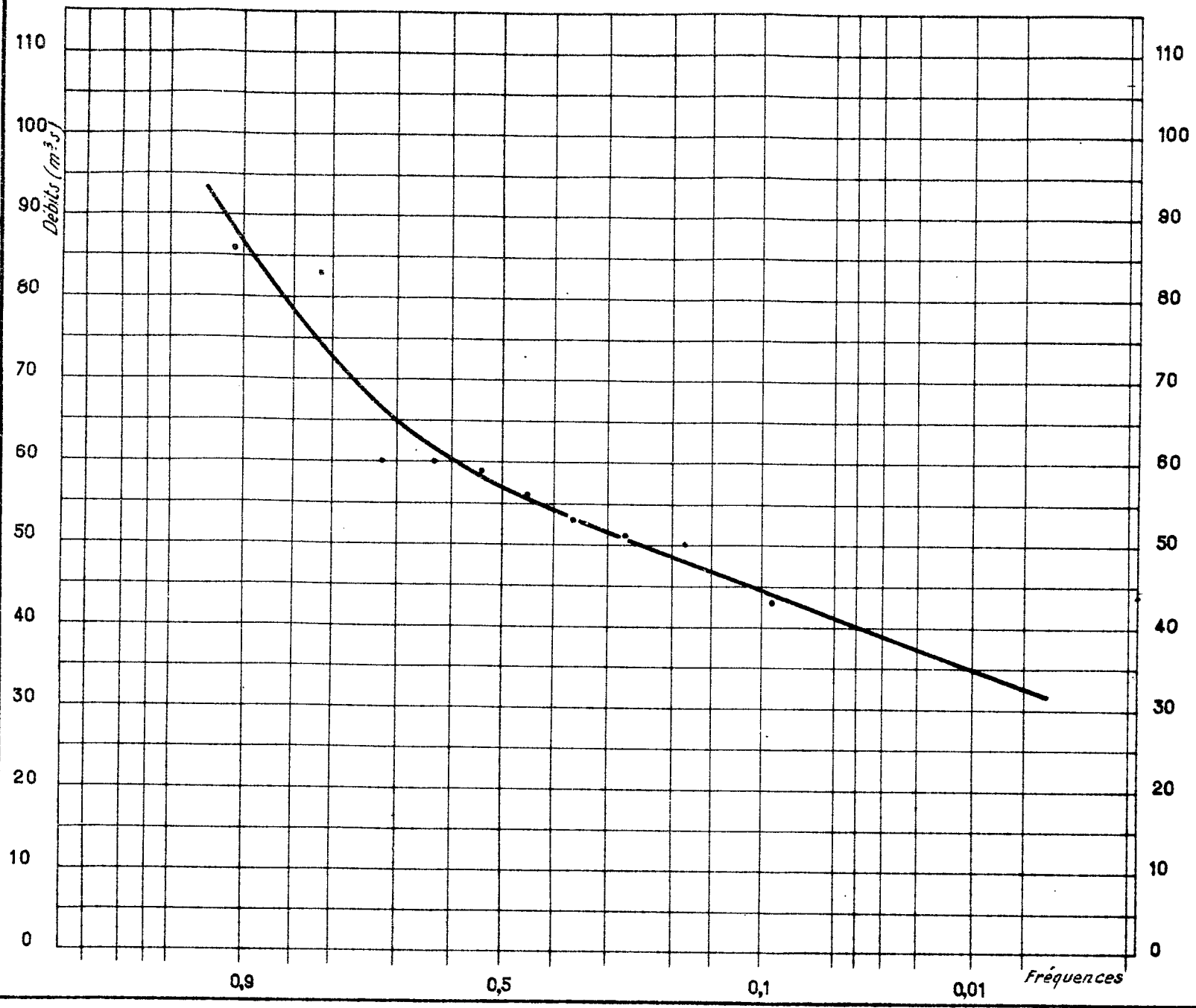
ORSTOM

No.

DATE: 20. V. 1964

DESSIN: [Signature]

MAD 171 081



En admettant, faute de mieux, que les valeurs spécifiques des étiages absolus varient linéairement et en sens inverse avec les logarithmes des coefficients de tarissement, on obtiendrait les relations suivantes :

Débit spécifique de l'étiage médian : - 0,31 - 2,30 log k
 Débit spécifique de l'étiage décennal : - 2,11 - 2,65 log k
 Débit spécifique de l'étiage centenaire : - 1,51 - 2,05 log k
 ces débits étant exprimés en l/s.km².

Il serait ainsi possible d'exprimer en n'importe quel point du bassin les débits absolus d'étiage de fréquence donnée, pour peu que l'on dispose des 3 ou 4 années d'observations nécessaires à une connaissance approchée de la valeur du coefficient de tarissement. Ceci doit être cependant considéré comme un résultat approché qui demanderait à être confirmé ultérieurement.

III - ETUDE STATISTIQUE des BASSES EAUX -

On considérera comme caractéristique des basses eaux le débit moyen du mois le plus faible de la saison sèche.

Sur l'IKOPA à BEVOMANGA, on possède un échantillon de 13 valeurs directement observées du débit moyen du mois le plus faible. L'extension des données à l'échelle mensuelle n'a pas été faite pour cette station. Les 13 valeurs, avec leur fréquence expérimentale au non dépassement $\left(\frac{n - 1/2}{N}\right)$ sont classées ci-dessous :

<u>N°</u>	<u>Débit (m³/s)</u>	<u>Fréquence</u>	<u>N°</u>	<u>Débit (m³/s)</u>	<u>Fréquence</u>
1	10,1	0,0385	8	22,1	0,577
2	14,0	0,115	9	22,4	0,654
3	16,5	0,192	10	24,8	0,730
4	17,6	0,269	11	26,6	0,808
5	19,2	0,346	12	27,0	0,885
6	19,6	0,423	13	32,0	0,960
7	19,8	0,500			

Les points représentatifs sont portés sur le graphique 20. L'allure de la répartition fait songer à une loi normale, avec les paramètres suivants :

Moyenne : 20,9 m³/s
Ecart type : 5,9 m³/s

D'où les valeurs suivantes pour différentes fréquences :

Valeur médiane : 20,9 m³/s
Valeur décennale : 13,3 m³/s
Valeur centenaire : 7,2 m³/s (?)

Pour ANTSATRANA, on dispose, outre les valeurs observées, des valeurs estimées par corrélations hydrométriques. L'ensemble de ces valeurs, classées en regard de leur fréquence expérimentale, sont portées sur le tableau XI. Là encore, la distribution semble normale avec les paramètres :

Valeur moyenne : 105 m³/s
Ecart type : 13,0 m³/s

Les valeurs observées directement ont été soulignées dans le tableau. On obtient, pour différentes fréquences, les valeurs suivantes :

Valeur médiane : 105 m³/s
Valeur décennale : 88 m³/s
Valeur centenaire : 75 m³/s (?)

Les autres stations fournissent des échantillons trop faibles pour qu'une étude statistique, même sommaire, soit possible.

TABLEAU XI

IKOPA à ANTSATRANA

Débits des mois les plus faibles

<u>N°</u>	<u>Débit (m³/s)</u>	<u>Fréquence</u>
1	<u>81</u>	0,0208
2	85	0,0625
3	<u>87</u>	0,108
4	<u>91</u>	0,146
5	92	0,187
6	<u>98</u>	0,229
7	<u>98</u>	0,291
8	100	0,312
9	<u>102</u>	0,354
10	104	0,396
11	<u>104</u>	0,438
12	105	0,479
13	105	0,520
14	106	0,562
15	108	0,603
16	108	0,645
17	108	0,687
18	109	0,728
19	<u>110</u>	0,770
20	113	0,812
21	<u>118</u>	0,854
22	121	0,895
23	122	0,936
24	<u>140</u>	0,978

CHAPITRE III

ETUDE des CRUES

Les pointes de crues, c'est-à-dire les débits maximaux observés chaque année, ne sont pas susceptibles, dans le cas de l'IKOPA et de la BETSIBOKA, d'une extension à partir de transformations hydropluviométriques relativement simples. L'étude portera donc uniquement sur les échantillons disponibles de valeurs observées.

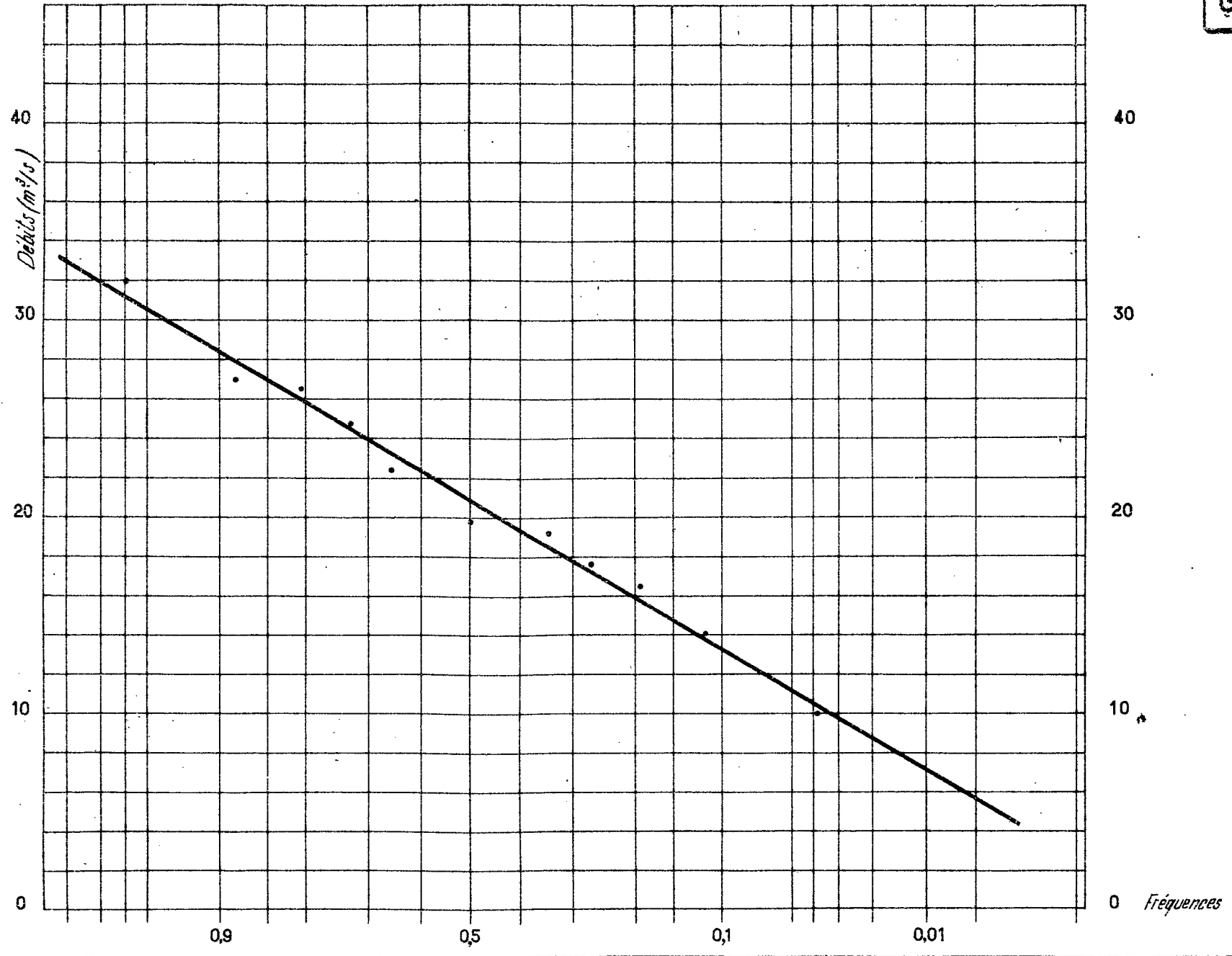
Sur l'IKOPA à BEVOMANGA, on possède un échantillon de 14 valeurs de maximums annuels. Ces valeurs sont reportées et classées sur le tableau XII. Un tel échantillon est vraiment trop petit pour permettre une estimation statistique précise des crues de faible fréquence. En effet, la dispersion observée dans l'estimation des valeurs centrales (moyenne, médiane) augmente considérablement quand il s'agit de quantiles de faible fréquence, surtout si l'on ne peut se fixer a priori la loi de distribution, les erreurs de non-adéquation venant alors s'ajouter aux erreurs d'échantillonnage. Or si l'on peut, dans l'étude des modules ou des totaux pluviométriques, admettre sans trop de dommage une distribution normale, il n'en est pas de même pour les crues, même dans le cas où l'examen de l'échantillon pourrait faire pencher vers une loi normale.

Il est donc parfaitement inutile, dans le cas présent, de tenter un ajustement sur une loi quelconque. On s'est contenté (gr. 22) de porter les points du tableau XII et de tracer graphiquement une courbe empirique s'adaptant le mieux possible aux points observés. On peut tirer de cette courbe les valeurs suivantes qui ne sont pas des approximations très grossières des paramètres qu'elles prétendent mesurer :

Crue médiane	:	320	m ³ /s
Crue décennale	:	450	m ³ /s
Crue centenaire	:	650	m ³ /s

Gr. 20

IKOPA A BÉVOMANGA RÉPARTITION DES MOIS LES PLUS FAIBLES



ORSTOM
N°
DATE: 21/11/1984
DESIGN: 1/1/84
MAD 171 082

ORSTOM

A.

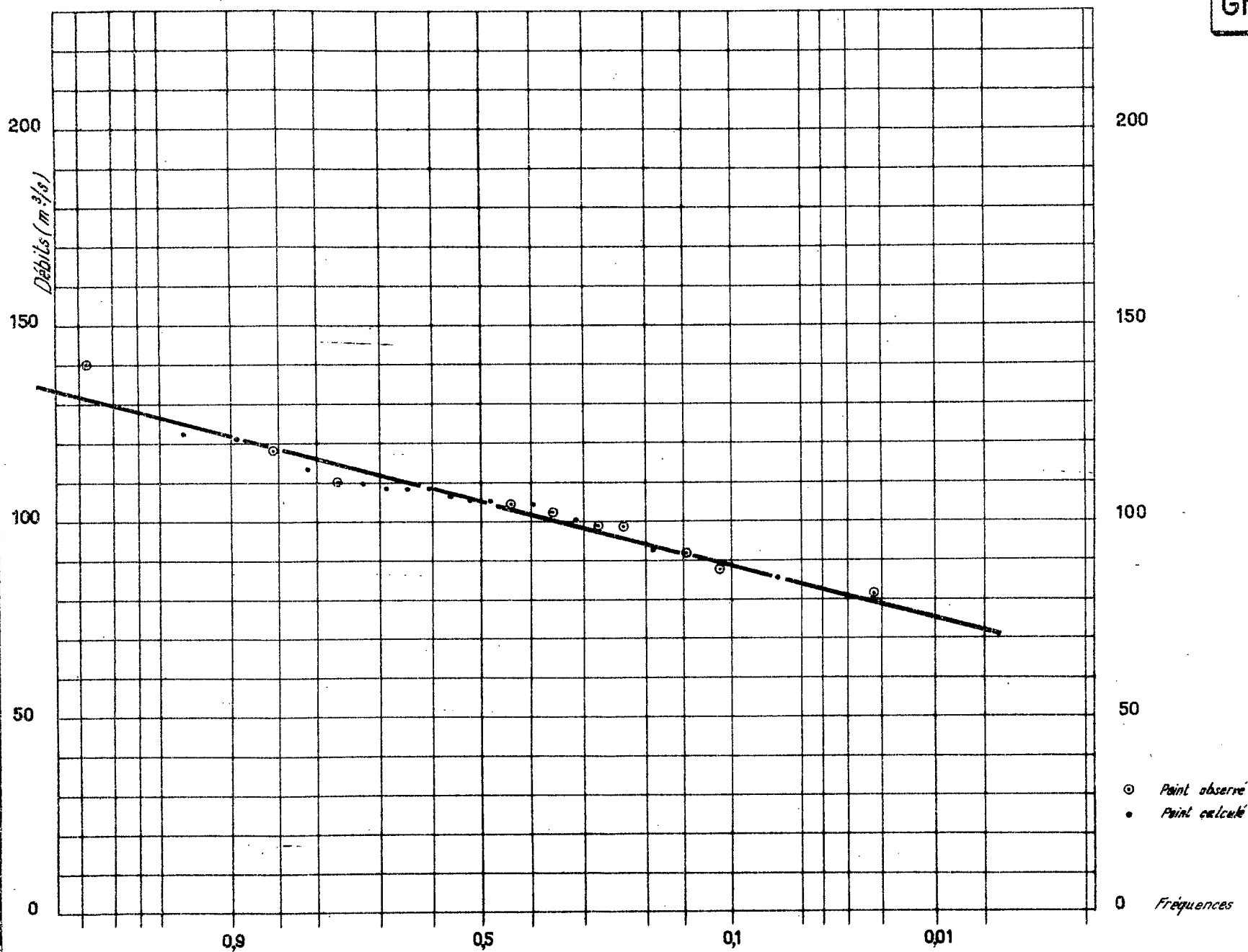
DATE: 2-7-1964

DESSIN: 2004

MAD 171 083

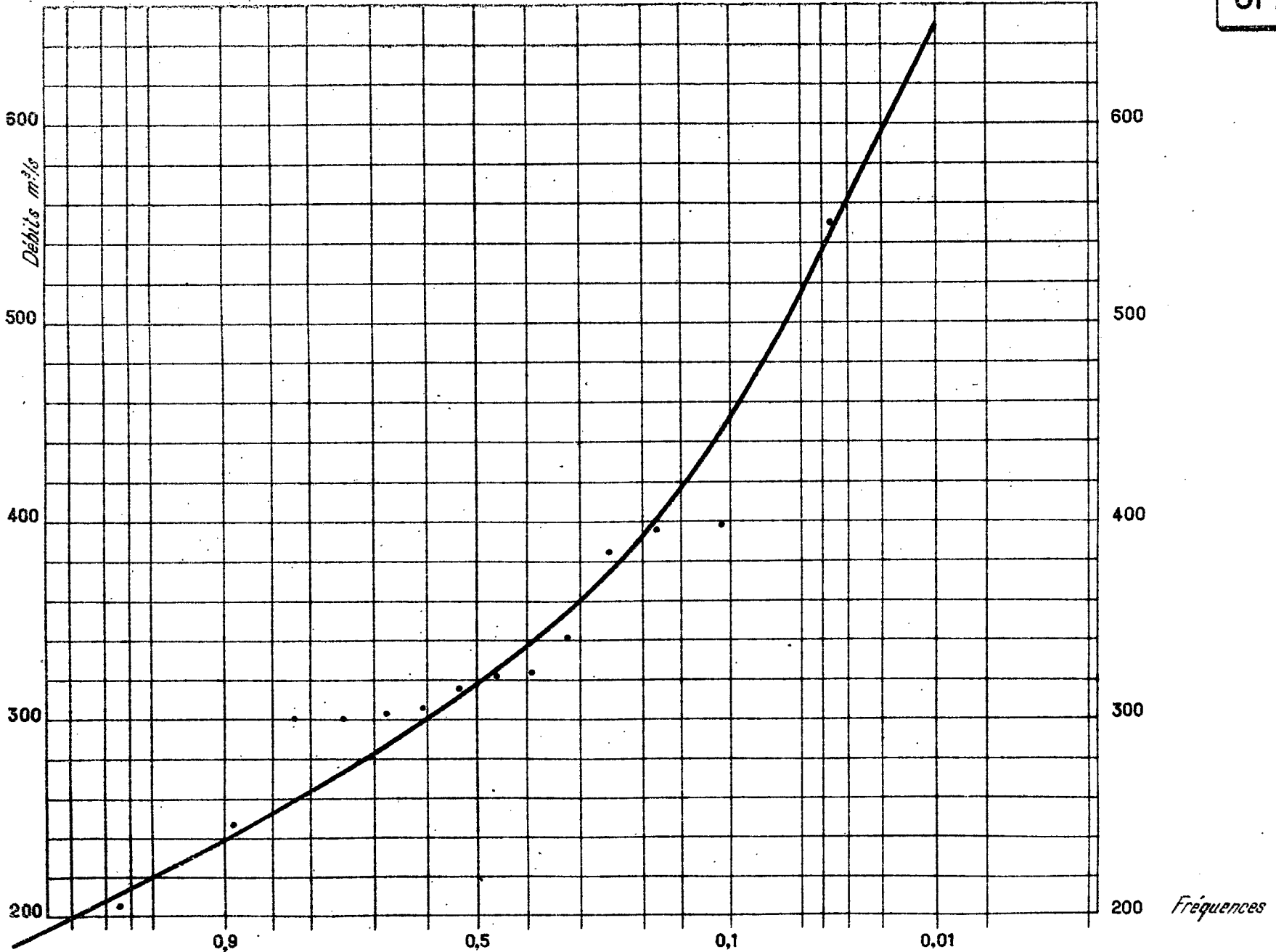
IKOPA A ANTSATRANA - RÉPARTITION DES MOIS LES PLUS FAIBLES

Gr. 21



Gr.22

IKOPA A BÉVOMANGA RÉPARTITION STATISTIQUE DES CRUES



ORSTOM

As

DATE: 21-11-1964

DESSIN: [illegible]

MAD 171 084

TABLEAU XII

IKOPA à BEVOMANGA

Crues annuelles

Série chronologique		Valeurs classées			
Année	Débit m ³ /s	N°	Débit m ³ /s	Fréquence	
1949-50	247	1	550	0,0357	
1950-51	322	2	398	0,107	
1951-52	398	3	396	0,179	
1952-53	306	4	384	0,250	
1953-54	303	5	341	0,322	
1954-55	300	6	323	0,393	
1955-56	323	7	322	0,465	
1956-57	396	8	315	0,536	
1957-58	384	9	306	0,607	
1958-59	550	10	303	0,678	
1959-60	300	11	300	0,750	
1960-61	341	12	300	0,822	
1961-62	205	13	247	0,893	
1962-63	315	14	205	0,965	

De même, les 14 données relatives aux crues de l'IKOPA à ANTSATRANA ont été portées sur le tableau XIII. Le report des valeurs sur le graphique 23 suggère une répartition normale, mais avec un échantillon de si petite taille, on ne peut pas conclure qu'il s'agit là de la véritable loi de distribution. On déduit de la courbe estimée, et avec les mêmes réserves que pour BEVOMANGA, les valeurs suivantes (nous verrons plus loin qu'en définitive nous adopterons des valeurs nettement supérieures) :

Crue médiane	:	2 400	m ³ /s
Crue décennale	:	2 700	m ³ /s
Crue centenaire	:	2 900	m ³ /s

Le cas de la BETSIBOKA (station d'AMBODIROKA) est encore plus délicat. Les seules observations régulières, rattachées à un étalonnage régulier et constant, portent uniquement sur la période 1957-1962. Cependant, des chiffres peuvent être avancés pour la période 1950-56, mais ces chiffres sont beaucoup moins sûrs que les précédents, car ils ont été tirés d'observations effectuées à la station aval, très instable ; ils ont été mis entre parenthèses dans le tableau XIV qui résume les données disponibles. Les données du tableau XIV ont été reportées sur le graphique 24. Si l'on met à part la crue de 12 000 m³/s donnée pour le 28 Mars 1959, l'échantillon très réduit et peu sûr que l'on possède conduirait à un modèle hypogaussique, ce qui n'est pas très vraisemblable. Par ailleurs, ce chiffre de 12 000 m³/s provient d'une estimation très hardie de la courbe de tarage, elle-même fondée sur des points très dispersés ; il s'agit donc d'une valeur très sujette à caution. D'autre part, les valeurs du tableau XIV n'ont pas toutes la même signification. Pour la période 1957-1959, les maximums ont été notés par des observateurs, alors qu'à partir de Juin 1959, il s'agit de relevés limnigraphiques. De plus, ces valeurs sont réputées être des pointes de crues alors qu'en fait il s'agit souvent de hauteurs relevées à un instant quelconque de la crue. Or, le rapport entre le débit de pointe et le débit moyen journalier correspondant est très grand. C'est ainsi que le débit moyen journalier qui correspondrait au débit de pointe de 12 000 m³/s est seulement de 4 100 m³/s. Ces circonstances ne facilitent pas l'interprétation des données hydrométriques.

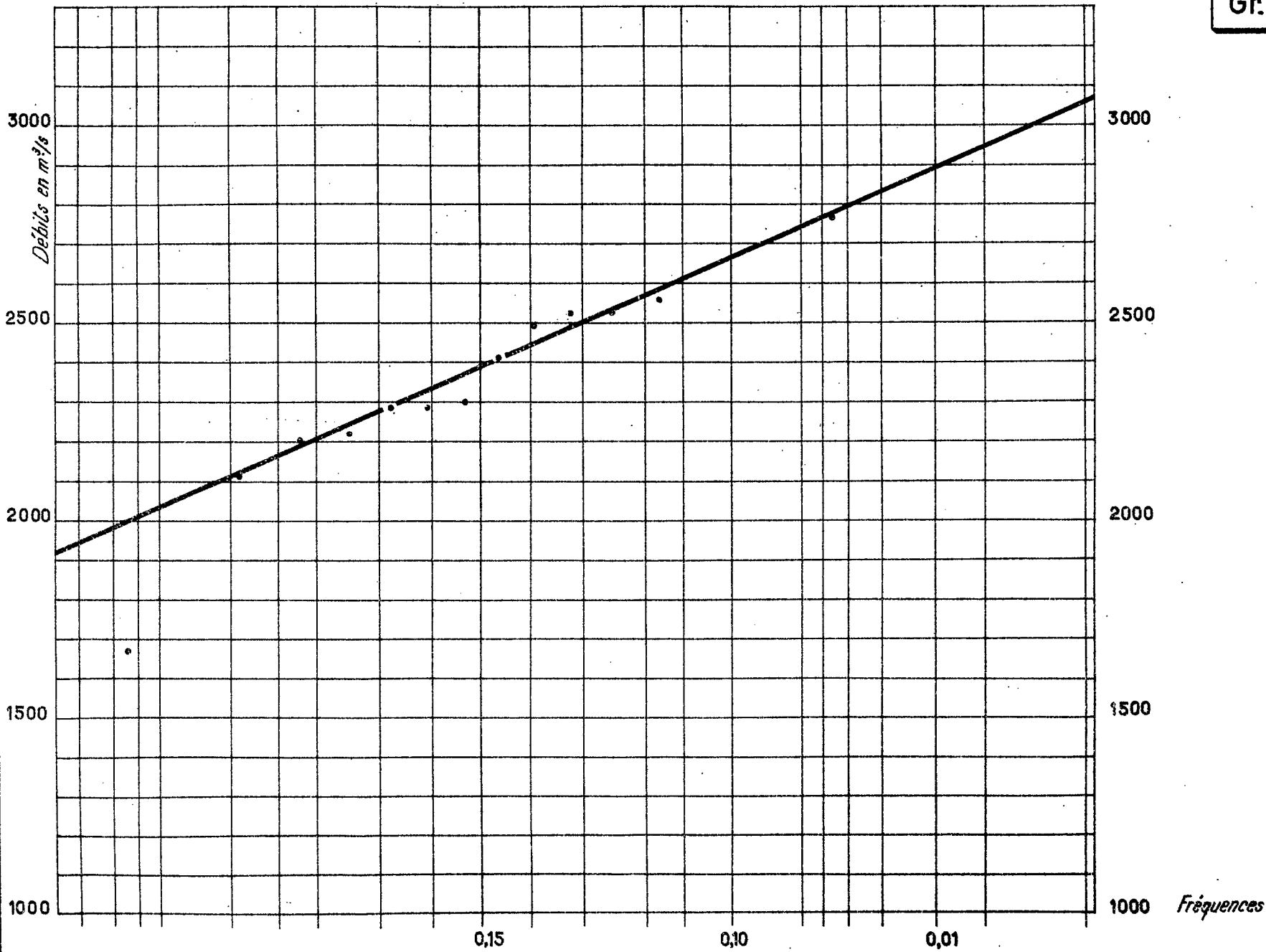
TABLEAU XIII
IKOPA à ANTSATRANA

Crues annuelles

Série chronologique		Valeurs classées		
Année	Débit m ³ /s	N°	Débit m ³ /s	Fréquence
1948-49	1 670	1	2 770	0,0357
1949-50	2 530	2	2 658	0,107
1950-51	2 530	3	2 562	0,179
1951-52	2 210	4	2 530	0,250
1952-53	2 498	5	2 530	0,322
1953-54	2 119	6	2 498	0,393
1954-55	2 562	7	2 418	0,465
1955-56	-	8	2 306	0,536
1956-57	2 226	9	2 290	0,607
1957-58	2 290	10	2 290	0,678
1958-59	2 306	11	2 226	0,750
1959-60	2 290	12	2 210	0,822
1960-61	2 418	13	2 119	0,893
1961-62	2 770	14	1 670	0,965
1962-63	2 658			

Gr.23

IKOPA A ANTSATRANA - RÉPARTITION STATISTIQUES DES CRUES



ORSTOM

N°

DATE: 20-11-1964

DESSIN: (unintelligible)

MAD 171 085

TABLEAU XIV
BETSIBOKA à AMBODIROKA

Crues annuelles

Série chronologique		Valeurs classées		
Année	Débit m ³ /s	N°	Débit m ³ /s	Fréquence
1950	(3 500)	1	(12 000)	0,0385
1951	(3 100)	2	4 005	0,115
1952	(3 450)	3	(3 750)	0,192
1953	(2 700)	4	3 675	0,270
1954	(2 700)	5	3 593	0,346
1955	(3 750)	6	(3 500)	0,423
1956	(2 400)	7	(3 450)	0,500
1957	1 526	8	3 350	0,577
1958	4 005	9	3 100	0,654
1959	(12 000)	10	(2 700)	0,731
1960	3 350	11	(2 700)	0,809
1961	3 675	12	(2 400)	0,885
1962	3 593	13	1 526	0,962

Il est certain que, pour préciser les valeurs des crues, il est indispensable de poursuivre les relevés limniographiques pendant de nombreuses années. En attendant, on ne peut qu'avancer des chiffres prudents qui n'ont pas grand-chose à voir avec l'analyse statistique correcte des résultats obtenus.

Pour la crue médiane, on est mieux armé que pour d'autres quantiles, comme toujours lorsqu'il s'agit d'estimer des valeurs centrales. En adoptant une valeur de 3 500 m³/s, on ne doit pas encourir de risque très grave de sous-estimation.

Pour la crue décennale, c'est déjà plus difficile. Avec une estimation même mauvaise et probablement surestimée de 12 000 m³/s pour la plus forte crue connue, on ne peut guère descendre au-dessous d'un maximum ponctuel de 6 à 8 000 m³/s.

Quant à la crue centenaire, même en supposant que les 12 000 m³/s sont assez largement surestimés et que la crue connue correspondante constitue un phénomène très rare, on ne peut raisonnablement l'évaluer à moins de 12 000 à 15 000 m³/s.

Mais on obtient alors une disparité énorme entre les crues de la BETSIBOKA et celles de l'IKOPA. Il est à peu près certain, les observations le montrent, qu'il existe effectivement des différences très importantes entre ces deux rivières, bien qu'on ne voie pas très nettement d'où elles peuvent provenir. Cependant, il est douteux que ces différences soient aussi énormes que le laissent présumer les résultats ci-dessus.

Pour l'IKOPA à BEVOMANGA, on conçoit parfaitement que la régularisation due à la plaine de TANANARIVE ait un effet d'atténuation très marquée sur les pointes de crues. Mais pour la même rivière, considérée à la station d'ANTSATRANA, la régularisation ne doit pas jouer un rôle aussi important, d'autant plus que le bassin correspondant a des caractéristiques de pente analogues à celles de la BETSIBOKA à AMBODIROKA. Il est donc prudent de rejeter en partie sur les fluctuations d'échantillonnage le fait que les maximums observés à ANTSATRANA

ORSTOM

No

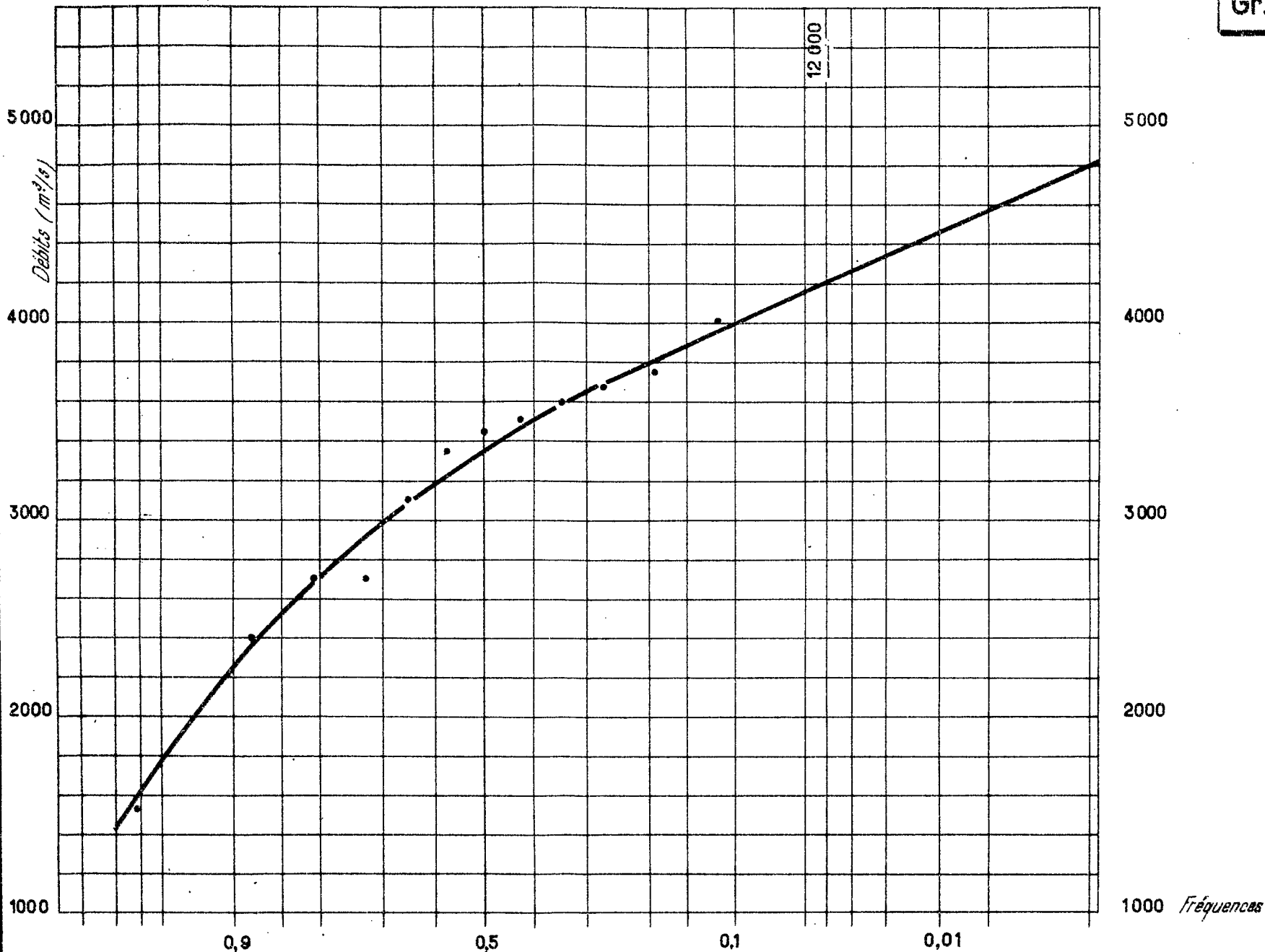
DATE: 20/11/1964

DESSINÉ: [Signature]

MAD 171 086

BETSIBOKA A AMBODIROKA RÉPARTITION STATISTIQUE DES CRUES

Gr.24



soient si peu dispersés ; et nous conseillerons d'adopter en définitive, pour cette dernière station, les valeurs suivantes :

IKOPA	{	Crue médiane	:	2 500	m ³ /s
à	{	Crue décennale	:	5 000	m ³ /s
ANTSATRANA	{	Crue centenaire	:	8 000	m ³ /s

Il est probable, comme pour la BETSIBOKA, que ces valeurs sont largement surestimées, mais en l'absence de renseignements suffisants, il convient de se montrer particulièrement prudent. De toute manière, la poursuite des observations s'impose : ANTSATRANA, comme AMBODIROKA, doivent être considérées comme des stations de base à exploiter indéfiniment. Etant donné les caractéristiques un peu particulières du régime, la continuité est ici encore plus importante qu'ailleurs.

CHAPITRE IV

DEFICITS et COEFFICIENTS d'ÉCOULEMENT

Le problème de l'extension des données hydrométriques ayant été traité (chapitre I) au moyen d'un procédé hydropluviométrique direct, la notion de déficit et de coefficient d'écoulement ne présente pas ici un intérêt immédiat. Mais ces paramètres constituent des données physiques réduites permettant éventuellement la comparaison avec d'autres bassins. C'est pourquoi nous avons voulu leur consacrer au moins un exposé sommaire.

On rappellera que le déficit d'écoulement est égal, pour une année donnée, à la différence entre la pluviométrie moyenne sur le bassin et la lame d'eau équivalente écoulée, cette dernière étant la hauteur qui serait atteinte par le volume d'eau écoulé à la station, si l'on pouvait le répartir sur une surface horizontale dont la superficie serait égale à celle du bassin. Ces différents paramètres sont exprimés en millimètres.

Le coefficient d'écoulement est égal au rapport de la lame d'eau écoulée à la pluviométrie moyenne sur le bassin, encore appelée "lame d'eau précipitée".

Il s'agit donc de deux aspects différents d'un même bilan hydrologique. Si l'on fait abstraction du report d'une année sur l'autre des réserves en eau du bassin, terme différentiel dans le cas qui nous occupe, le déficit d'écoulement est très voisin des pertes en eau par évapotranspiration.

Le déficit, comme le coefficient d'écoulement, ne peut être valablement calculé qu'à partir de données hydrologiques réellement observées. La prise en compte d'une période d'extension à partir des données pluviométriques constituerait une pétition de principe puisque l'idée de bilan est déjà contenue implicitement dans les corrélations hydropluviométriques.

Les résultats concernant l'IKOPA à BEVOMANGA sont portés sur le tableau XV. Les valeurs moyennes, pour la période 1949-50 à 1961-62 (années hydrologiques), ressortent à :

Déficit moyen d'écoulement	:	746 mm
Coefficient moyen d'écoulement	:	0,436

Les résultats concernant l'IKOPA à FIADANANA se rapportent à une période beaucoup plus courte (1958-59 à 1961-62) : ils sont consignés dans le tableau XVI. Les valeurs moyennes sur la période sont :

Déficit moyen d'écoulement	:	857 mm
Coefficient moyen d'écoulement	:	0,436

Pour l'IKOPA à ANTSATRANA, on obtient les chiffres portés sur le tableau XVII, relatifs à la période 1948-49 à 1961-62. Les valeurs moyennes pour la période sont :

Déficit moyen d'écoulement	:	783 mm
Coefficient moyen d'écoulement	:	0,486

Pour la BETSIBOKA à AMBODIROKA, les résultats relatifs à la période 1957-58 à 1961-62 figurent sur le tableau XVIII. Les valeurs moyennes sont, pour la période :

Déficit moyen d'écoulement	:	703 mm
Coefficient moyen d'écoulement	:	0,533

Par suite de la disparité des périodes d'observation et surtout de la brièveté de certaines d'entre elles, ces résultats sont difficilement comparables. Cependant, il semble ressortir assez nettement que les coefficients d'écoulement des haut et moyen bassins sont plus faibles que ceux des bassins inférieurs. Si on peut adopter une valeur moyenne comprise entre 40 et 45 % pour les premiers, il semble que pour les seconds cette valeur soit de l'ordre de 50 %.

TABLEAU XV
IKOPA à BEVOMANGA
(4 237 km²)

Déficits et coefficients d'écoulement

Année	Module m ³ /s	Pluviométrie mm	Lame écoulée mm	Déficit d'écoulement mm	Coefficient d'écoulement
1949-50	58,3	1 174	459	715	0,390
1950-51	72,4	1 326	535	791	0,403
1951-52	84,4	1 432	626	806	0,437
1952-53	73,3	1 325	542	783	0,409
1953-54	67,5	1 002	526	476	0,525
1954-55	73,9	1 347	573	774	0,425
1955-56	79,4	1 374	589	785	0,428
1956-57	92,0	1 504	683	821	0,454
1957-58	69,0	1 364	510	854	0,374
1958-59	122,3	1 633	907	726	0,556
1959-60	75,6	1 157	560	597	0,485
1960-61	71,5	1 347	529	818	0,393
1961-62	64,8	1 220	479	741	0,393
Moyenne	77,3	1 323	577	746	0,436

TABLEAU XVI

IKOPA à FIADANANA

(9 450 km²)

Déficits et coefficients d'écoulement

Année	Module m ³ /s	Pluviométrie mm	Lame écoulée mm	Déficit d'écoulement mm	Coefficient d'écoulement
1958-59	285	1 795	250	845	0,529
1959-60	171	1 461	570	891	0,390
1960-61	161	1 418	537	881	0,379
1961-62	173	1 400	576	824	0,411
Moyenne	198	1 519	662	857	0,436

TABLEAU XVII

IKOPA à ANTSATRANA

(18 550 km²)

Déficits et coefficients d'écoulement

Année	Module m ³ /s	Pluviométrie mm	Lame éoulée mm	Déficit d'écoulement mm	Coefficient d'écoulement
1948-49	332	1 311	562	749	0,428
1949-50	339	1 240	576	664	0,464
1950-51	426	1 633	725	908	0,444
1951-52	513	1 563	873	690	0,559
1952-53	517	1 464	880	584	0,600
1953-54	463	1 332	788	544	0,591
1954-55	462	1 763	785	978	0,445
1955-56	316	1 346	537	809	0,399
1956-57	464	1 722	790	932	0,458
1957-58	410	1 563	697	866	0,446
1958-59	525	1 727	893	834	0,517
1959-60	411	1 470	700	770	0,476
1960-61	357	1 495	607	888	0,406
1961-62	556	1 700	945	755	0,556
Moyenne	435	1 524	741	783	0,486

TABLEAU XVIII
BETSIBOKA à AMBODIROKA
(11 800 km²)

Déficits et coefficients d'écoulement

Année	Module m ³ /s	Pluviométrie mm	Lame écoulée mm	Déficit d'écoulement mm	Coefficient d'écoulement
1957-58	293	1566	781	785	0,50
1958-59	442	1785	1178	607	0,66
1959-60	242	1320	645	675	0,49
1960-61	215	1305	573	732	0,44
1961-62	301	1450	803	647	0,55
Moyenne	300	1485	800	685	0,54

De toute manière, l'ensemble est assez homogène, ainsi que le montre le graphique 25 qui groupe les résultats annuels obtenus sur tous les bassins observés. On voit que la grande majorité des coefficients d'écoulement sont compris entre les limites approximatives 40 et 55 %. Ces coefficients ont été reportés en regard de la pluie moyenne annuelle sur le bassin ; la relation entre les deux paramètres n'est pas évidente.

Cette relation est beaucoup plus nette si l'on porte (graphique 26) le déficit d'écoulement en regard de la pluie annuelle moyenne. Il apparaît clairement deux groupements correspondant sans doute à deux modes de fonctionnement différents des bassins, phénomène déjà observé à des échelles de temps et d'espace très différentes et encore mal expliqué.

On retiendra surtout de ce chapitre les valeurs du coefficient de ruissellement. La cohérence des résultats, le peu de sensibilité de ce paramètre pour des bassins de ce type, à la pluviométrie moyenne, rendent son utilisation possible sur des bassins analogues pour lesquels on ne possède pas de relevés hydrométriques.

O R S T O M

A 0

DATE

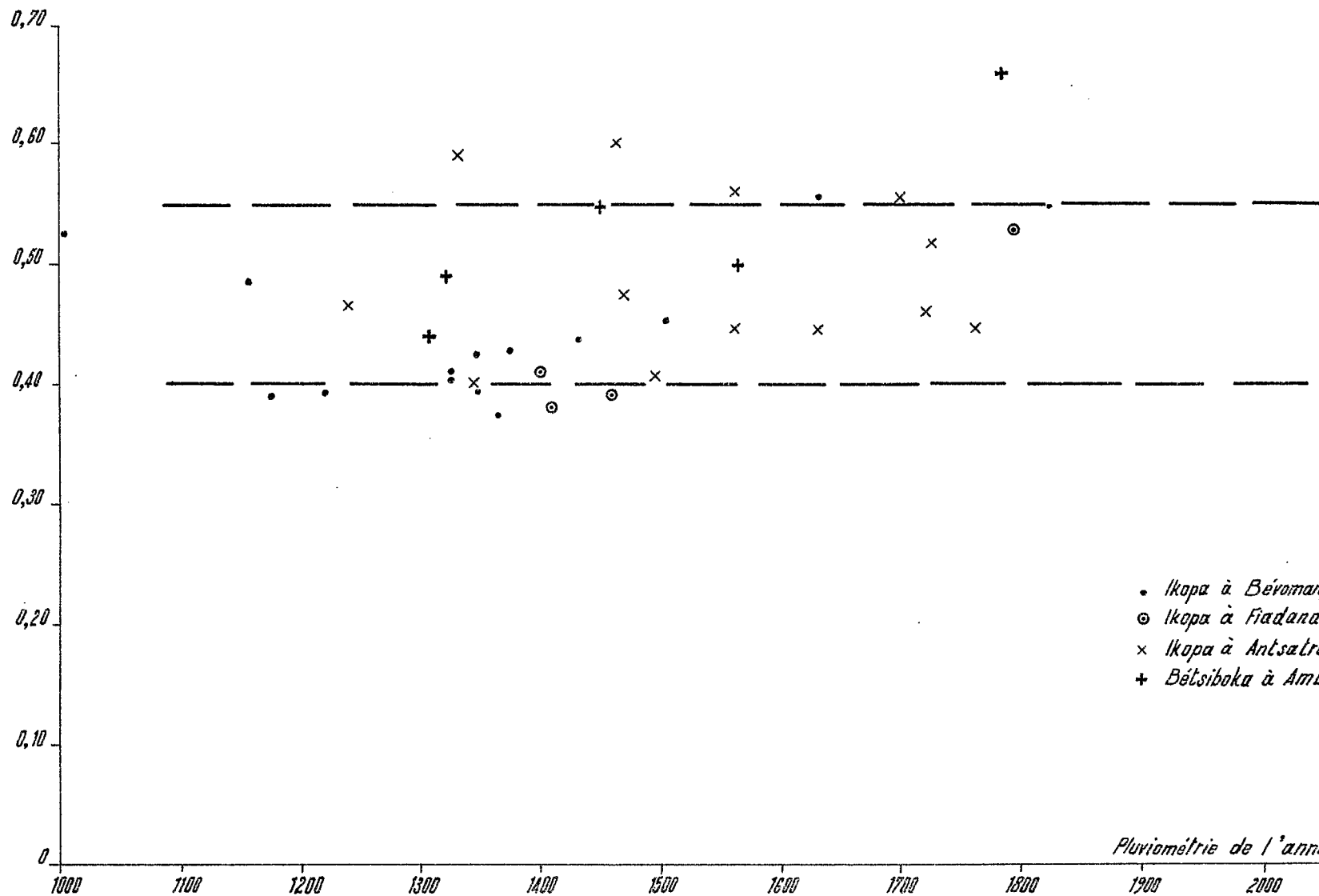
20-VICHAMPIV

DESSINÉ : H. RICHY

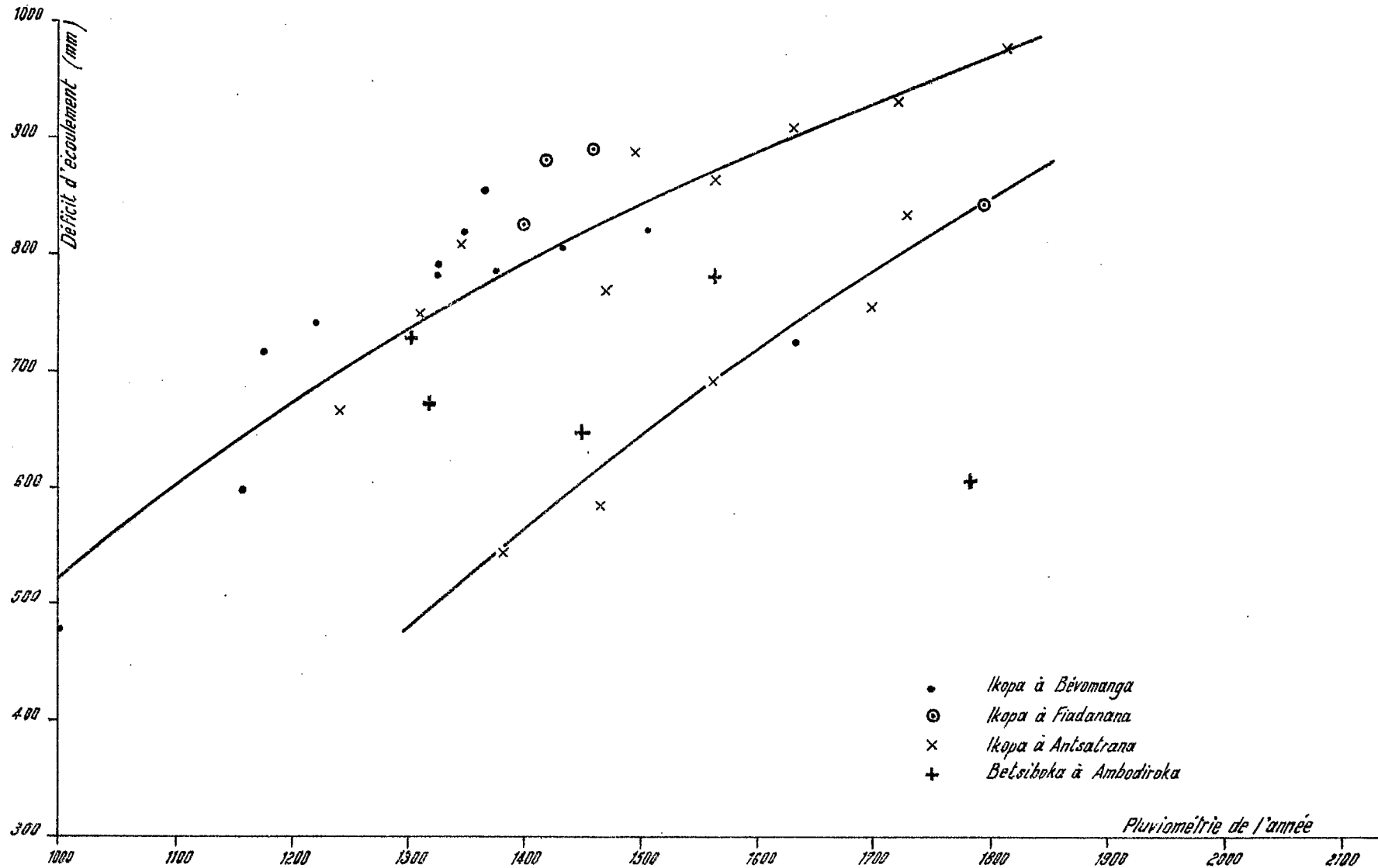
MAD 171 087

Gr. 25

COEFFICIENTS D'ÉCOULEMENT



DÉFICITS D'ÉCOULEMENT



CHAPITRE V

RESULTATS des BASSINS EXPERIMENTAUX

On a décrit, dans le second volume (volume B) de cette monographie, les dispositifs d'observation adoptés pour les deux bassins imbriqués de la rivière d'ANKABOKA près d'AMBODIROKA, le bassin amont d'une superficie de 1,64 km² et le bassin aval, englobant le premier, d'une superficie de 4,08 km².

Nous donnons, ci-après, les principaux résultats obtenus sur ces deux bassins.

1 - CARACTERISTIQUES des CRUES -

1°) Bassin amont (1,64 km²)

Seules les averses homogènes assez fortes ont fait l'objet d'une étude particulière. Les caractéristiques de ces averses et des crues afférentes ont été consignées dans le tableau XIX.

Les premières colonnes du tableau se rapportent aux caractéristiques de l'averse en elles-mêmes. Elles donnent successivement :

- la pluie maximale ponctuelle observée sur le bassin durant l'averse : Pmax (en mm)
- la pluie minimale ponctuelle : Pmini (mm)
- la pluie moyenne sur le bassin durant l'averse : Pm (mm)
- les rapports du maximum et du minimum ponctuels à la pluie moyenne. Ces rapports caractérisent l'homogénéité de l'averse. Celle-ci est d'autant plus homogène que les valeurs des rapports sont plus voisines l'une de l'autre et plus proches de 1.

B.V. d'ANKABOKA
Bassin AMONT

Tableau XIXa

Tableau des caractéristiques des crues supérieures à 5m³/s

S = 1,64 Km²

Références		Averse						Saturation du Sol			Pluie Utile		Ruissellement pur				Ruissellement Hypodermique			Ruissell. Total %	Hydrogramme					Type de la crue		ANNÉE	
N°	Date	Pmax mm	Pmini mm	Pm mm	Pmax Pm	Pmini Pm	I maxi moy(fonct) mm/h	Pp mm	Pa mm	Durée de Pa à Pp heures	Pu mm	t _u hetm.	H _r mm	V _r m ³	K _r %	K _{ru} %	V _h m ³	K _h %	K _{hu} %		K _{RT} %	t _p hetm.	t _m hetm.	t _b hetm.	Q _{max} m ³ /s	Q _{Rmax} m ³ /s	U. Unitaire C. Complexe		Q _r H _r m ³ /h/mm
1	21-11	69,4	53,5	60,4	1,1	0,9	114 (132)	5,7	17	24	50,7	0,55																	
3	3-12	42,5	38,8	40,7	1	1	115 (126)	1,0	0		39,7	0,50	9,7	15.900	24	24	5.160	7	7	32	0,45	0,30	1,50	6,75	6,2	U ₁	0,64		
4	13-12	54,4	35,4	49,3	1,1	0,7	92 (102)	2,1	22	24	47,2	1,30	15,5	25.400	31	33	6.300	8	8	39	0,40	0,25	2,20	9,2	8,9		0,57		
6	4/5 -1	100,3	73,4	82,5	1,2	0,9	69 (84)	10,0	10 22	40 55	62,8	1,45	21,8	35.700	26	35	11.800	9	12	35	0,35	1,10	3,10	11,3	10,1		0,46		
8	11-1	108,5	72,0	91,6	1,2	0,8	107 (120)	0	3 27	16 64	78,9	1,10	39,4	64.500	43	50	14.400	10	12	53		0,35	1,50	29,9	29,2		0,74		
11	14-1	22,6	20,0	21,3	1,1	0,9	70 (84)	1,0	20 25 92	20 48 68	17,0	0,30	7,4	12.200	35	44	1.980	6	8	41	0,55	0,25	1,50	5,4	5,1	U ₁	0,69		
13	15-1	42,5	33,5	39,6	1,1	0,8	60 (60)	1,0	13 21 20	21 30 50	22,3	0,40	5,9	9600	15	26	4500	7	12	22	[1,45]	0,40	1,40	4,6	4,1	U ₁	0,70		
13 ^{bis}	19-1	52,8	30,5	46,4	1,1	0,7	98 (120)	1,0	2	21	43,0	0,55	20,1	33.000	43	47	5.040	7	8	50	0,40	0,30	1,55	15,1	14,8		0,74		
18	27-1	43,7	40,0	41,9	1	1	79 (84)	0,5	12 25 50	9 48 72	39,0	1,00	19,9	32.700	48	51	3360	5	5	53	0,35	1,00	2,45	13,4	13,0		0,65		
21 ^{bis}	29-1	26,7	15,0	19,9	1,3	0,8	37 (50)	0	13 20 10 42	7 28 57 64	17,0	0,45	8,7	14.300	44	51	3790	12	14	55	0,50	0,45	2,00	5,9	5,4		0,62		
27	24/25-2	24,5	21,5	22,5	1,1	1	98 (98)	1,8	11 15 18	23 48 75	18,9	0,25	5,0	8.220	22	26	4020	11	13	33	0,55	0,45	1,50	3,8	3,3	U ₁	0,66		
29	3/4 -3	85,5	62,5	79,2	1,1	0,8	78 (84)	6,0	8 17	22 32	61,6	1,20	35,8	58.800	45	58	10.900	8	10	54	0,35	1,00	2,30	20	18,9		0,53		

[1,45] chiffres estimés ou approchés

B.V. d'ANKABOKA
Bassin AMONT

Tableau XIXb

Tableau des caractéristiques des crues supérieures à 5 m³/s

S = 1,64 Km²

Références		Averse						Saturation du Sol			Pluie Utile		Ruissellement pur				Ruissellement Hypodermique			Ruissell. Total	Hydrogramme					Type de la crue		ANNÉE					
N°	Date	Pmax mm	Pmini mm	Pm mm	Pmax Pm	Pmini Pm	I maxi moy (fonct) mm/h	Pp mm	Pa mm	Durée de Pa à Pp heures	Pu mm	tu hetm.	Hr mm	Vr m³	Kr %	Kru %	Vh m³	Kh %	Khu %	KRT %	tp hetm.	tm hetm.	tb hetm.	Qmax m³/s	Qmaxi m³/s	U. Unitaire C. Complexe	Qr Hr m³/s/mm						
34	1/2 .12	72,8	50,4	58,8	1,2	0,9			9	24			21,0	34.400	36		5040	5		41		0,30	1,35	18,0	17,7	U ₂	0,84						
35	2/3 .12	54,5	34,0	42,8	1,3	0,8	102	0	59 9	23 47	40,5	0,55	17,4	28.500	41	43	3600	5	5	46	0,50	0,30	2,00	12,5	12,3		0,71						
36	10/11 .12	74,0	52,5	60,4	1,2	0,9	(42)	2,6	6 10	24 48	46,8	2,00	24,0	39.400	40	51	9250	9	12	49	0,40	0,30	3,10	12,5	12,3		0,52						
40	20/21.12	64,5	40,7	57,5	1,1	0,7	35	34,0	11 11	24 49	23,5	1,30	13,5	22.200	24	58	5.460	6	15	29	(0,30)	0,55	2,00	10,5	9,7		0,72						
43	30 .12	71,5	41,5	59,2	1,2	0,7	63	0,7	23 15 7 29	19 38 45 62	52,3	1,10	34,9	57.200	59	68	6840	7	8	66	0,25	0,40	1,50	29,1	28,6		0,82						
45	4/5 .1	30,6	22,7	26,0	1,2	0,9	61 (78)	0	9	42	23,5	0,55	12,6	20.600	48	54	5.220	12	13	61	0,25	0,25	1,45	9,4	9,2	U ₂	0,73						
48	7/8 .1	33,6	21,5	24,5	1,4	0,9	33 (36)	1,0	50 21	22 50	22,0	1,20	15,0	24.600	61	68	2.590	6	7	67		0,30	1,50	11,5	9,6		0,64						
53	25/26.1	67,0	57,0	61,4	1,1	0,9	29	0	10 15	5 21	39,0	2,00	12,7	20.900	21	33	9.960	10	16	31	0,30	0,45	2,50	6,2	5,5	C							
60	24 .2	31,0	20,0	27,1	1,1	0,7	159 (162)	2,7	0		24,4	0,35	9,2	15.000	34	38	2.740	6	7	40	0,30	0,20	1,40	7,7	7,6	U ₂	0,78						
66	15/16.3	27,5	16,8	22,9	1,2	0,7	54 (60)	0	10	49	22,9	0,55	7,1	11.650	31	31	4.212	11	11	42	0,45	0,30	1,30	5,7	5,3		0,75						
67	16/17.3	83,2	65,0	70,0	1,2	0,9	97 (156)	1	23 10	21 70	66,2	2,20	30,8	50.550	44	47	12.500	11	12	55				10,9		C							
68	18 .3	71	52,6	64,5	1,1	0,8	72 (96)	3,7	70 23	24 45	60	2,00	51,6	84.700	80	86	17820	17	18	97	0,45	1,20	2,40	22,5	20,8		0,40						
71	23.3	46,1	32,4	38,5	1,2	0,8	120 (126)	0	27	75	38,5	0,35	31,4	51.550	82	82	4.200	7	7	88	(0,15)	0,35	1,30	28,3	27,9	U ₂	0,89						
72	26.3	11,5	1,0	8,5	1,4	0,1		0	39	70	8,5		6,0	9.840	71	71	1.500	11	11	81		0,10	1,30	6,4	6,3		1,05						
76	12/13.4	37,4	26,2	32,9	1,1	0,8	51 (72)	9,0	30 18	24 72	19,2	0,55	8,5	13.850	26	44	3.955	7	12	33	0,35	0,30	2,00	6,7	6,4		0,75						
78	17.4	70,5	63,2	65,0	1,1	1	112 (132)	0	18	26	58,5	1,30	43,5	71.350	67	74	9850	9	10	76	0,30	0,45	1,50	28,6	27,4		0,63						
																				(145) Chiffres estimés ou approchés													

B.V. d'ANKABOKA
Bassin AMONT

Tableau XIX c

Tableau des caractéristiques des crues supérieures à 5 m³/s

S = 1,64 Km²

Références		Averse						Saturation du Sol			Pluie Utile		Ruissellement pur				Ruissellement Hypodermique			Ruissell. Total	Hydrogramme					Type de la crue		ANNÉE	
N°	Date	Pmax mm	Pmini mm	Pm mm	Pmax Pm	Pmini Pm	I maxi moy (fonct) mm/h	Pp mm	Pa mm	Durée de Pa à Pp heures	Pu mm	tu hetm.	Hr mm	Vr m³	Kr %	Kru %	Vh m³	Kh %	Khu %		KRT %	tp hetm.	tm hetm.	tb hetm.	Qmax m³/s	QRmaxi m³/s	U. Unitaire C. Complexe		QR Hr m³/s/mm
80.81	18/19.12	59,6	19,8	38,9	1,5	0,7			11 9	21 66			25,5	41.770	65		14.760	23		89		[0.30]	4.45	18,8	18,5	C			
82	21.12	119,6	104,7	112,3	1,1	0,9			5 20 3 39	3 15 33 50			30,5	50.000	27		16.900	9		36			6,00	11,6	11,0	C			
88	28/29.12	47,3	36,6	41,3	1,1	0,9	88	1,5	10 32	10 66	38,2	0,50	33,8	55.400	82	88	6.240	9	10	91	0,20	0,45	2,20	31,9	31,5		0,81		
90	30/31.12								6 2 41	18 40 50			6,7	11.040			2.340					0,25	1,50	5,8	5,7		0,85		
92	1/2 .1												9,4	15.470			1.500					0,20	2,00	9,1	9,0		0,96		
95	6.1			[70,5]			(144)		7	55			40,1	65.700	[57]		4.800	[4]		[61]		0,45	2,20	24,3	24,0		0,60		
97	8/9 .1			[38,5]			(108)		71	68			31,0	50.800	[80]		4.080	[6]		[86]		0,45	2,00	27,7	27,3		0,76		
100	11/12 .1			[40,5]			(168)		10 20 39	17 43 67		[0,20]	29,4	48.100	[72]	*	4.700	[7]		[79]		0,30	1,25	27,1	26,8	U ₂	0,91		
104	20/21.1			(107)									(30,0)	(49.200)	(28)								(10=20)			C			
106	24/25.1			(123,5)			(156)		16	76			(55)	(90.000)	(45)									(> 35 m³/s)					
107	25/26.1			[37,5]			(168)		120	15		[0,15]	12,5	20.450	[33]		3.660	[6]		[39]		0,35	2,00	12,3	12,0	U ₂	0,96		
108	25/26.1			(58,0)			(60)		38 120	2 19			18,5	30.350	[32]		6.780	[7]		[39]		[0,40]	3,30	11,3	10,6	C			
109	28/29.1			(15)					0				3,0	5.100	[21]		2.220	[9]		[30]		0,35	1,30	4,9	4,6		1,5		
112	1/2 .2			44,5			(36)		7 25	20 43			6,6	10.800	15		3.360	5		19		0,40	1,30	4,9	4,5	U ₁	0,68		
116	23/24.3	32,3	25	28,4	1,2	0,9																							
117	26/27.3	33	2,7	12,7	2,6	0,2			29	69																			
118	28/29.3	56,1	35,2	47,7	1,2	0,7	(84)		21	48																			
119	1.4			(66)			180(216)	4,5	40 51	22 71	55	0,50					(1,45)	Chiffres estimés ou approchés											

- l'intensité maximale I_{Max} soit moyenne, après composition des hyétogrammes, soit ponctuelle (entre parenthèses). Elle est exprimée en mm/h.

Les 3 colonnes suivantes sont consacrées à l'état de saturation du sol défini par la précipitation préliminaire P_p , c'est-à-dire la partie de l'averse précédant la pluie utile (voir définition plus loin), les pluies antérieures P_a , c'est-à-dire les hauteurs de précipitation des averses ayant précédé l'averse étudiée, enfin l'intervalle de temps séparant chacune des averses antérieures de la pluie préliminaire : ce dernier paramètre, exprimé en heures, est noté "écart de P_a à P_p " sur le tableau XIX.

Viennent ensuite les caractéristiques de la pluie utile. On appelle ainsi la partie de l'averse qui a pu raisonnablement donner lieu à du ruissellement. Elle est caractérisée par la hauteur P_u (en mm) et sa durée t_u exprimée en heures et en minutes sur le tableau.

Les quatre colonnes suivantes concernent le ruissellement pur, pour lequel sont définis :

- la lame d'eau ruisselée H_r (en mm)
- le volume ruisselé V_r (en m^3)
- le coefficient de ruissellement $K_r = \frac{H_r}{R_m}$, exprimé en pourcentage dans le tableau
- le coefficient de ruissellement utile $K_{ru} = \frac{H_r}{P_u}$, exprimé en pourcentage.

Les 3 colonnes suivantes donnent les caractéristiques de l'écoulement hypodermique :

- Volume hypodermique V_h (en m^3)
- Coefficient d'écoulement hypodermique K_h (en %)
- Coefficient d'écoulement hypodermique utile K_{hu} (en %)

La colonne suivante donne la valeur du coefficient de ruissellement global KRT (en %), défini comme le rapport :

$$\frac{\text{Volume de ruissellement pur + volume hypodermique}}{\text{Volume précipité}}$$

5 colonnes sont ensuite consacrées aux caractéristiques de l'hydrogramme, c'est-à-dire :

- le temps de réponse t_p , intervalle de temps séparant le centre de gravité de l'averse utile du débit maximal de ruissellement
- le temps de montée t_m , ou durée de la branche ascendante de l'hydrogramme de ruissellement
- le temps de base t_b , ou durée totale du ruissellement
- le débit maximal de la crue Q_{Max} (en m^3/s)
- le débit maximal de l'hydrogramme de ruissellement : QR_{Max} (en m^3/s).

Enfin les deux dernières colonnes donnent des renseignements sur le type de la crue :

U_1 représente une crue unitaire relative à de faibles ruissellements, inférieurs à 10 mm si l'intensité est forte ou à 15 mm si l'intensité est faible.

U_2 représente une crue unitaire relative à de forts ruissellements, plus de 10 mm si l'intensité est forte, plus de 15 mm si l'intensité est faible.

Cette discrimination est purement indicative. C indique une crue complexe. Les crues ne comportant aucune indication de ce type sont des crues à pointe unique mais qu'il est difficile d'accepter comme unitaires.

La forme de la crue, ou plus exactement sa raideur, est caractérisée par le rapport $\frac{Q_r}{H_r}$, rapport dimensionnel

qui n'a de valeur que pour comparer entre elles les crues produites par un même bassin.

L'analyse des hydrogrammes de ruissellement a conduit à l'adoption de deux formes différentes de l'hydrogramme type suivant qu'il s'agit d'une crue U_1 ou d'une crue U_2 .

Pour U_1 , on a adopté la répartition suivante, dans laquelle les temps sont exprimés en dizaines de minutes, les débits en m^3/s , le volume de l'hydrogramme type étant rapporté à une lame d'eau ruisselée de 1 mm.

Instant :	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4
Débit :	0	0,01	0,13	0,46	0,66	0,54	0,39	0,25	0,14
Instant :	+5	+6	+7	+8					
Débit :	0,07	0,03	0,01	0					

Le temps de base est de 2 h et le temps de montée de 40 minutes.

Pour les crues type U_2 , on a un hydrogramme type plus pointu. Avec les mêmes unités :

Instant :	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4
Débit :	0	0,02	0,17	0,59	0,80	0,60	0,27	0,14	0,06
Instant :	+5	+6							
Débit :	0,02	0							

Le temps de montée est toujours de 40 minutes, mais le temps de base n'est plus que de 1 h 40.

2°) Bassin aval (4,08 km²)

Les caractéristiques des averses et des crues sont présentées sur le tableau XX avec les mêmes définitions que pour le tableau XIX.

Les crues U_1 sont en principe celles pour lesquelles la lame ruisselée est inférieure à 25 mm pour une pluie de faible intensité ou à 20 mm pour une pluie de forte intensité.

Les crues U_2 correspondent en principe à des lames ruisselées supérieures à 25 ou 20 mm dans les mêmes conditions d'intensité que pour les crues U_1 .

Les hydrogrammes types, toujours rapportés à une lame ruisselée de 1 mm et avec la même unité de temps (10 minutes), sont les suivants

Crue U_1 :

Instant :	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0
Débit :	0	0,01	0,04	0,13	0,46	0,80	1,08	1,26

Instant :	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7	+8	+9
Débit :	1,08	0,78	0,48	0,27	0,14	0,07	0,04	0,02	0

Le temps de base est de 2 h 50 et le temps de montée de 1 h 10.

Crue U_2 :

Instant :	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0
Débit :	0	0,03	0,13	0,30	0,49	0,72	0,88	0,98	1,04

Instant :	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7	+8
Débit :	0,92	0,60	0,31	0,15	0,10	0,06	0,03	0.

Le temps de base est de 2 h 40 et le temps de montée de 1 h 20.

B.V. d'ANKABOKA
TOTAL

Tableau XXa

Tableau des caractéristiques des crues supérieures à 5m³/s

S = 4,08 Km²

Références		Averse						Saturation du Sol			Pluie Utile		Ruissellement pur				Ruissellement Hypodermique			Ruissell. Total	Hydrogramme					Type de la crue		ANNÉE
N°	Date	Pmax mm	Pmini mm	Pm mm	Pmax Pm	Pmini Pm	I maxi moy(fonct) mm/h	Pp mm	Pa mm	Durée de Pa à Pp heures	Pu mm	tu hetm.	Hr mm	Vr m³	Kr %	Kru %	Vh m³	Kh %	Khu %	KRT %	tp hetm.	tm hetm.	tb hetm.	Qmax m³/s	Qrmax m³/s	U. Unitaire C. Complexe	Qr Hr m³/s/mm	
1	21.11	92,6	53,5	64,8	1,4	0,8	88 (132)	8,0	16	24	47,7	0,55	18,8	76.500	29	39	20.330	8	11	37	2.20	1.25	2.45	21,4	18,9		1,0	1959
2	23.11	62,9	17,4	39,2	1,6	0,4	62 (62)	10,0	65	65	26,2	0,50	3,2	13.400	8	12	7.430	5	7	13	0,45	1,20	2,35	5,4	4,2		1,3	
3	3.12	43,5	30,5	38,4	1,1	0,8	89	0	0		31,3	0,30	4,2	16.900	11	13	12.300	8	10	19	1,35	1,00	2,00	6,5	5,4	U ₁	1,3	
4	13.12	50,1	7,0	36,2	1,4	0,2	(102)		23	24			4,4	17.800	12		7.140	5		17		0,25	1,30	7,0	6,1		1,4	
6	4/5.1	100,5	73,4	87,5	1,4	0,8	62 (84)	10,2	8 25	40 55	62,0	1,40	29,6	120.700	34	44	24.500	7	9	41	1,30	1,35	3,00	24,2	19,2		0,65	1960
8	11.1	108,5	58,4	73,6	1,5	0,8	96 (120)	5,0	3 24	16 24	50,5	0,45	30,8	125.300	42	60	24.500	8	12	50		1,20	2,30	38,4	35,2		1,1	
9	12.1	37,1	13,5	26,2	1,4	0,5	68 (90)	1,4	74	20	23,5	0,30	4,3	17.500	16	18	7.920	7	8	24		1,10	2,40	5,95	5,1		1,2	
13	15.1	42,5	32,1	38,7	1,1	0,8	60 (60)	0,5	13 20 18	21 30 50	23,3	0,35	3,8	15.230	10	16	8.160	5	8	15	2,00	1,30	2,20	5,4	3,7		0,97	
13 ^{bis}	19.1	52,8	20,7	35,7	1,5	0,6	100 (125)	0,5	3	21	26,5	0,25	10,8	44.100	30	41	13.020	9	10	39	1,35	1,25	2,25	15,6	13,6		1,3	
18	27.1	44,0	27,2	40,0	1,1	0,7	73 (84)	3,0	13 30 40	10 55 72	33,8	0,50	11,1	45.100	28	33	10.070	6	7	34	1,35	1,10	2,20	15,6	13,8	U ₁	1,2	
21 ^{bis}	29.1	26,7	15,0	19,9	1,3	0,8	37 (50)	3,3	9 14 8 40	7 28 56 64	13	0,30	4,3	17.300	21	33	12.700	16	24	37	1,40	1,45	2,30	6,8	4,6		1,1	
27	24/25.2	33,7	21,5	26,7	1,3	0,8	102 (120)	3,0	7 22	23 48	22,2	0,20	6,9	28.200	26	31	12.200	11	13	37	0,45	0,45	2,30	9,2	8,4		1,2	
29	3/4.3	85,5	49,5	68,3	1,3	0,7	78 (90)	8,0	8 8	22 32	49,4	1,05	31,0	126.300	46	63	28.600	10	14	56	1,30	1,35	2,50	29	27,6		0,89	

B.V. d'ANKABOKA
TOTAL

Tableau XXb

Tableau des caractéristiques des crues supérieures à 5 m³/s

S = 4,08 Km²

Références		Averse						Saturation du Sol			Pluie Utile		Ruissellement pur				Ruissellement Hypodermique			Ruissell. Total	Hydrogramme					Type de la crue		ANNÉE	
N°	Date	Pmax mm	Pmini mm	Pm mm	Pmax Pm	Pmini Pm	I maxi moy(fonct) mm/h	Pp mm	Pa mm	Durée de la Pp heures	Pu mm	tu hetm.	Hr mm	Vr m³	Kr %	Kru %	Vh m³	Kh %	Khu %	KRT %	tp hetm.	tm hetm.	tb hetm.	Qmax m³/s	Qrmax m³/s	U.Unitaire C.Complexe	Qr Hr m³/s/mm		
34	1/2.12	74,2	50,0	59,0	1,3	0,8	(30)		12	24															16,2				
35	2/3.12	54,5	32,6	38,8	1,4	0,8	(100)		59 12	23 47			10,3	42.000	27		20.650	13		40		1.20	3.00	15,1	13,4			1,3	
36	10/11.12	96,6	52,5	74,3	1,3	0,7	(42)		7 7	24 48			29,2	119.000	39		39000	13		52		1.00	3.00	36,0	34,7			1,2	
40	20/21.12	64,5	28,7	49,7	1,3	0,6	26	31,0	7 12	24 49	18,7	1.35	6,6	27.000	13	35	18.400	9	24	22	(0,40)	1.10	2.30	11,0	9,8			1,5	
41	29.12	24,0	10,5	16,9	1,4	0,6			7 32 5	7 24 48			5,5	22.400	33		13.700	20		52		0.55	2.25	7,0	6,4	U ₁		1,2	
43	30.12	71,5	20,8	46,9	1,5	0,4	36	0,5	22 17 32	19 38 45 62	38,7	1.10	18,1	73.800	39	47	18.200	10	12	48	1.00	1.05	2.30	25,4	24,2			1,3	
45	4/5.1	35,0	22,7	29,3	1,2	0,8	88(144)	1,0	14 3	42 56	26,0	0.45	14,2	57.800	49	55	23.600	20	23	68	0.45	0.50	2.20	18,0	17,1	U ₁		1,2	
48	7/8.1	34,2	20,9	25,3	1,4	0,8	42(54)	0,7	50 20	22 50	21,4	1.20	13,7	55.600	54	64	14.300	16	19	64	0.40	1.05	3.00	18,6	16,4			1,2	
53	25/26.1	84,2	53,0	67,4	1,2	0,8	60(132)	0	16 19	5 21	45,0	2.00	20,6	84.000	31	46	16.800	6	9	37			6.00	11,7	10,8	C.			
60	24.2	31,0	14,4	22,2	1,4	0,6	113(162)	1,3	0		17,5	0.15	4,5	18.250	20	26	9.600	11.	13	31	1.10	0.55	2.45	6,2	5,8			1,3	
67	16/17.3	84,0	56,3	66,4	1,3	0,8	110(132)	1,0	10	21	63	2.25	33,7	137.500	51	54	30.350	11	12	62				26,4		C			
68	18.3	71,0	22,5	48,0	1,5	0,5	43(96)	6,3	66 10	24 45	32	1.30	26,2	107.000	55	82	33.750	17	25	72	1.20	1.10	2.40	27,0	23,8				
70	20.3	33,0	11,8	26,9	1,2	0,4	47(66)	4,0	17 48	16 59	20,5	0.55	5,2	21.100	19	25	7.740	7	9	26	0.50	1.00	3.00	6,4	5,7			1,1	
71	23.3	47,0	16,1	32,0	1,5	0,5	103(126)	0	27	75	32,0	0.40	21,8	88.900	68	68	15.960	12	12	80	0.55	1.00	2.20	27,9	26,5	U ₁		1,2	
76	12/13.4	37,4	26,2	31,7	1,2	0,8	55(90)	14,4	27 19	24 72	6,8	0.20	3,8	15.550	12	56	15.570	12	[24]	24	1.10		3.00	5,5	4,4			1,2	
78	17.4	70,5	61,5	63,9	1,1	1	107(132)	1,0	22	26	54,0	1.25	42,6	174.100	67	79	22.800	9	11	76	1.05	1.25	4.00	40,2	38,2				
																	(1.45) Chiffres estimés ou approchés												

1960

1961

B.V. d'ANKABOKA
TOTAL

Tableau XXc

Tableau des caractéristiques des crues supérieures à 5m³/s

S = 4,08 Km²

Références		Averse						Saturation du Sol			Pluie Utile		Ruissellement pur				Ruissellement Hypodermique			Ruissell. Total	Hydrogramme					Type de la crue		ANNÉE			
N°	Date	Pmax mm	Pmini mm	Pm mm	Pmax Pm	Pmini Pm	I maxi moy(fonct) mm/h	Pp mm	Pa mm	Durée de la p.p. heures	Pu mm	tu hetm.	Hr mm	Vr m³	Kr %	Kru %	Vh m³	Kh %	Khu %	KRT %	tp hetm.	tm hetm.	tb hetm.	Qmax m³/s	QRmaxi m³/s	U. Unitaire C. Complexe	QR Hr m³/s/mm				
80.81	18/19.12	59,6	18,9	25,7	2,3	0,7	(48)		12 17	21 66			16,4	66.950	64		21.510	20		83		0,45	4,00	12,2	10,2	C		1961			
82	21.12	121,4	101,9	111,7	1,1	0,9	67(105)	27,5	15 26	3 50	84,2	5,40	33,0	134.500	30	39	49.000	11	15	40		1,50	7,40	20,2	18,8	C					
86	25/26.12	40	28,4	35,0	1,1	0,8	47(96)	1,5	2 3	16 28	33,5	1,45	13,4	54.750	38	40	20.800	15	16	53	1,20	2,10	5,40	11,1	10,1		0,76				
88	28/29.12	47,3	10,8	29,5	1,6	0,4	(96)		10 35	10 66			21,2	86.600	72		11.400	9		81		0,40	3,00	28,1	27,4		1,3				
90	30/31.12								4 3 30	18 40 50			5,4	21.960			9.550					0,35	3,20	6,7	6,1		1,1				
92	1/2.1												10,4	42.240			12.600					0,55	3,20	15,3	14,3		1,4				
95	6.1	75	45	69,6	1,1	0,6	130(145)	4	7 8	55 74	60	1,00	45,3	184.900	65	75	27.950	10	13	75	1,35	1,40	4,30	35,6	34,6		0,74				
97	8/9.1	55	38,5	44,7	1,2	0,9	110(155)	2,3	70	68	42,0	0,50	31,8	129.000	71	76	19.900	11	12	82	1,05	1,15	4,00	34,2	33,6	U ₂	1,1				
100	11/12.1			35,1			143(168)	1,0	18 14 45	17 43 67	32,8	0,20	18,2	76.200	53	56	10.690	7	8	61	0,50	1,20	3,00	26,8	25,9	U ₁	1,4				
106	24/25.1	124	115	120,5	1,1	0,9	125(156)	14,0	16	76	103	4,20	72,9	297.000	61	71	36.000	7	8	68	(0,30)	1,20	5,00	72,0	70,0		0,96				
107	25/26.1	43	37,5	39,3	1,1	0,9	144(168)	0	121	15	35,3	0,50	21,3	87.000	54	60	15.230	10	11	64	0,55	1,05	3,00	26,0	24,9	U ₁	1,2				
108	25/26.1	60	57	58,6	1	1	54(60)	8,5	39 120	2 19	48	2,45	35,3	143.900	60	74	19.100	8	10	68	1,00	1,20	5,00	24,8	23,0	C		1962			
109	28/29.1	16	6	12,5	1,3	0,5			0				2,7	11.210	22		8.150	16		38		0,20	2,20	5,5	5		1,9				
112	1/2.2	45	27	37,8	1,2	0,7	25(30)	3,2	9 32	20 43	13,0	1,00	5,2	21.300	14	40	23.400	15	44	29	1,05	0,30	2,00	7,1	6,6		1,3				
116	23/24.3	33	25	29,3	1,2	0,8	(48)	9,5			19,0	0,25	5,2	21.300	18	27	8.455	7	11	25	1,00	1,00	2,30	7,8	7,0	U ₁	1,3				
117	26/27.3	33	2,7	20,7	1,6	0,1	72(110)	0	29	69	14,0	0,20	3,1	12.480	15	22	4.980	6	10	21	0,40	0,45	2,30	5,4	4,9		1,6				
118	28/29.3	59	35,2	50,6	1,2	0,7	66(84)	1,5	21	48	28	0,35	11,9	48.600	24	43	23.000	11	20	35	1,00	1,25	3,00	12,9	11,8		1				
119	1.4			60,5	(1,2)	(0,8)	182(216)	3,0	4,0 51,0	22 71	51,6	0,40	30,7	125.100	51	59	10.770	4	5	55	1,05	1,25	3,00	32,7	31,7	U ₂	1				
																				[1.45] Chiffres estimés ou approchés											

II - ESTIMATION des CRUES DECENNALES -

L'étude statistique des averses recueillies à MAEVATANANA et reportées aux bassins d'ANKABOKA montre qu'on peut admettre pour ces bassins une averse ponctuelle décennale de 190 mm.

L'étude des averses recueillies sur les bassins au cours des différentes campagnes conduit, d'autre part à adopter les coefficients de réduction suivants pour le passage à la pluie moyenne :

Bassin amont : 90 %
Bassin aval : 87 %

D'autre part, il semble exclu qu'une telle averse puisse fournir un hyétogramme simple, c'est-à-dire comportant une seule pointe d'intensité. L'étude des hyétogrammes recueillis conduit à adopter pour l'averse de 190 mm ponctuels un hyétogramme à double pointe d'intensité et l'étude des coefficients de ruissellement conduit à adopter pour ces coefficients les valeurs moyennes suivantes :

Bassin amont : 75 %
Bassin aval : 70 %

soit une distribution des précipitations ruisselées conforme au tableau suivant (intervalles de 20 minutes) :

	Précipitations ruisselées par tranches de 20 minutes (mm)							Total (mm)
Amont	<u>44</u>	26	<u>32</u>	10	7	7	2	128
Aval	41	24	29	9	6	6	1	116

La transformation de ces hyétogrammes en hydrogrammes, à partir des hydrogrammes types établis au paragraphe précédent, donne les maximums suivants, compte tenu du débit de base :

Bassin amont 45 m³/s ou 26 800 l/s.km²
Bassin aval 89 m³/s ou 21 800 l/s.km²

Il convient, d'autre part, d'examiner ce que peut donner une averse simple de fréquence analogue, c'est-à-dire décennale. Différentes considérations conduisent à admettre pour une telle averse une hauteur totale de 100 mm, plus intense que la précédente (averse double). On se doit d'adopter également des coefficients de ruissellements supérieurs, respectivement 85 % et 80 % pour les bassins amont et aval, ce qui conduit à la distribution suivante des précipitations devant ruisseler :

	Précipitations ruisselées par tranches de 20 minutes (mm)								Total (mm)
Amont	2,5	59	11	5,0	4,0	2,5	1,0	85	
Aval	2,4	56	10,4	4,0	4,0	2,4	0,8	80	

La transformation de ces hyétogrammes en hydrogrammes, à partir des hydrogrammes types, donne les maximums suivants, compte tenu du débit de base :

Bassin amont 52 m³/s ou 31 700 l/s.km²
Bassin aval 75 m³/s ou 18 380 l/s.km²

Tandis que le hyétogramme à simple pointe donne sur le petit bassin le plus fort débit maximal, malgré une précipitation totale beaucoup plus faible, on voit que c'est au contraire le hyétogramme double qui conduit à la plus forte valeur pour le bassin aval. C'est assez normal.

Pour l'estimation des crues décennales, on doit prendre dans chaque cas la plus forte des valeurs obtenues. En effet, la détermination de l'averse à hyétogramme simple se fait indépendamment de celle de l'averse à hyétogramme double. On adoptera donc en définitive les valeurs suivantes pour les crues décennales :

Bassin amont : 52 m³/s soit 31 700 l/s.km²
Bassin aval : 89 m³/s soit 21 800 l/s.km²

III - DEBITS JOURNALIERS et APPORTS MENSUELS -

Les débits moyens journaliers ont été obtenus par planimétrage des hydrogrammes.

Les résultats concernant le bassin amont sont portés sur les tableaux suivants :

Tableau XXI	:	campagne 1959-60
Tableau XXII	:	campagne 1960-61
Tableau XXIII	:	campagne 1961-62

La première campagne (début 1959) a été une période de rodage et les résultats obtenus ne permettent pas de donner les débits journaliers. Pour la campagne 1961-62, les lacunes sont importantes par suite de l'indisponibilité fréquente de l'observateur.

Les résultats du bassin aval sont portés sur les tableaux suivants :

Tableau XXIV	:	campagne 1959-60
Tableau XXV	:	campagne 1960-61
Tableau XXVI	:	campagne 1961-62

Les remarques déjà faites pour le bassin amont sont applicables au bassin aval.

En regard des débits moyens journaliers, les débits de pointe ont été également indiqués lorsqu'il y avait lieu.

On peut estimer que les campagnes d'observation couvrent sensiblement la période de l'année hydrologique pour laquelle on risque d'avoir un écoulement non négligeable. Il est donc possible d'estimer les modules pour deux des années d'observation :

TABIEAU XXI

ANKABOKA

Station amont

Débits journaliers en m³/s

Année 1959 - 1960

: Jours	: Novembre		: Décembre		: Janvier		: Février		: Mars		: Avril	
	Q _m	Q _M	Q _m	Q _M	Q _m	Q _M	Q _m	Q _M	Q _m	Q _M	Q _m	Q _M
1	0,002		0,002		0,007		0,112		0,030			
2	0,002		0,002		0,031	0,58	0,098		0,084	1,64		
3	0,002		0,296	6,75	0,014		0,085		0,046			
4	0,002		0,030		0,561	11,3	0,073		0,93	20		
5	0,002		0,026		0,028		0,062		0,06			
6	0,002		0,024		0,024		0,060	0,085	0,07	0,10		
7	0,002		0,020		0,022		0,055		0,05			
8	0,002		0,018		0,020		0,025		0,04			
9	0,002		0,018		0,056	0,88	0,018		0,063	0,30		
10	0,002		0,018		0,026		0,018		0,040			
11	0,002		0,018		0,937	29,9	0,018		0,035			
12	0,002		0,018		0,044				0,032			
13	0,002		0,412	9,15	0,116	1,55	0,018		0,030			
14	0,002		0,018		0,236	5,38	0,230	3,89	0,030			
15	0,002		0,197	4,0	0,425	4,55	0,103	0,87	0,030			
16	0,002		0,025	0,19	0,063		0,10		0,028			
17	0,002		0,020		0,045		0,07		0,028			
18	0,002		0,019		0,037		0,047		0,026			
19	0,002		0,018		0,471	15,0	0,067	0,53	0,030		?	
20	0,002		0,017		0,065		0,04		0,022			
21	(0,500)	?	0,016		0,054		0,074	0,58	0,111	0,47		
22	(0,050)		0,015		0,061		0,087		0,183	2,36		
23	(0,027)	0,74	0,014		0,141	1,25	0,10	0,47	0,113	0,27		
24	0,004		0,014		0,376	2,45	0,203	3,77	0,076	0,19		
25	0,004		0,013		0,124		0,154		0,062			
26	0,004		0,012		0,050		0,060		0,045			
27	0,003		0,012		0,715	13,3	0,045		0,037			
28	0,003		0,011		0,337	3,66	0,035		0,030			
29	0,002		0,010		0,437	5,86	0,030		0,026			
30	0,002		0,009		0,157				0,022			
31			0,008		0,128				0,022			
Moy. mens.	(0,021)		0,043		0,187		0,071		0,078		(0,015)	

Mai (0,012), Juin (0,009), Juillet (0,007)

Août (0,004), Septembre (0,003), Octobre (0,002)

Module : 0,038 m³/s

Q_m : Débit moyen journalier

Q_M : Débit max. ou pointe de crue

TABLEAU XXII

ANKABOKA

Station amont

Débits journaliers en m³/s

Année 1960 - 1961

Jours	Novembre		Décembre		Janvier		Février		Mars		Avril	
	Q _m	Q _M	Q _m	Q _M	Q _m	Q _M	Q _m	Q _M	Q _m	Q _M	Q _m	Q _M
1			0,005		0,025		0,019		0,013		0,021	
2			0,795	18,0	0,010		0,018		0,013		0,020	
3			0,093		0,036	0,39	0,017		0,012		0,019	
4			0,015		0,435	9,44	0,016		0,022	0,123	0,018	
5			0,013		0,132	0,75	0,016		0,038	0,23	0,025	0,144
6			0,012		0,324	3,42	0,015		0,020		0,019	
7			0,010		0,525	11,5	0,015		0,015		0,017	
8			0,009		0,083		0,015	0,076	0,059	0,462	0,016	
9			0,008		0,071	0,36	0,020		0,015		0,015	
10			0,318	12,5	0,035		0,014		0,015		0,063	0,75
11			0,282		0,025		0,015		0,015		0,049	
12			0,103	0,91	0,023		0,015		0,015		0,172	4,6
13			0,015		0,022		0,044	1,57	0,018	0,042	0,246	6,65
14			0,039	0,52	0,021		0,045		0,025		0,045	
15			0,004		0,020		0,025	0,035	0,020		0,038	0,57
16			0,004		0,019		0,023		0,591	10,9	0,075	0,70
17			0,003		0,018		0,019		0,414	5,95	1,01	28,6
18			0,005	0,10	0,017		0,018		1,31	22,5	0,032	
19			0,018	0,045	0,016		0,017		0,029		0,029	
20			0,172	3,95	0,015		0,016		0,150	1,92	0,025	
21			0,425	10,45	0,014		0,016		0,020		0,025	
22			0,025		0,013		0,015		0,005		0,022	
23			0,022		0,013		0,015		0,663	28,3	0,022	
24			0,019		0,012		0,224	7,70	0,047		0,022	
25			0,017		0,172	5,7	0,015		0,020		0,019	
26			0,015		0,367	6,23	0,014		0,152	6,37	0,019	
27			0,013		0,035	0,26	0,014		0,018		0,019	
28			0,012		0,040		0,013		0,015		0,019	
29			0,148	2,13	0,026				0,015		0,015	
30			0,802	29,12	0,017				0,015		0,015	
31			0,045		0,021	0,22			0,022			
	(0,002)		0,111		0,083		0,026		0,122		0,072	

Mai (0,012), Juin (0,009), Juillet (0,007)

Module : 0,038 m³/s

Août (0,004), Septembre (0,003), Octobre (0,002)

Q_m : débit moyen journalier

Q_M : débit maximal ou pointe de crue

TABLEAU XXIII

ANKABOKA

Station amont

Débits journaliers en m³/s

Année 1961 - 1962

: Jours :	: Novembre :		: Décembre :		: Janvier :		: Février :		: Mars :		: Avril :	
	Q _m	Q _M	Q _m	Q _M	Q _m	Q _M	Q _m	Q _M	Q _m	Q _M	Q _m	Q _M
1					0,234	9,12	0,192	4,93				
2					0,079		0,076	0,75				
3					0,047	0,36	0,020	0,036				
4					0,037		0,019	0,17				
5					0,026		0,010					
6					0,89	24,3						
7					0,037	0,042						
8					0,288							
9			?		0,545	27,7						
10					0,157	3,21						
11					0,656	27,1						
12					0,137	1,5						
13					0,035							
14					0,032							
15					(0,05)	(0,96)						
16				0,025	0,029							
17			0,012	0,026	0,025							
18			0,721	18,8	0,025							
19			0,081		0,022							
20			0,008		(0,46)	?						
21			0,94	11,6	(0,10)							
22			0,086		?							
23			0,043	0,063	?							
24			0,043	0,070	(0,35)	(≥35)						
25			0,25	3,32	(1,0)	12,3						
26			0,109		0,046							
27			0,050		0,015							
28			0,93	31,9	0,01							
29			0,071		0,102	4,93						
30			0,213	5,83	0,027	0,26						
31			0,113	2,35	0,020	0,023						
Moy. mens.					(0,136)							

Plus de relevés

Q_m : Débit moyen journalier

Q_M : Débit maximal ou pointe de crue

TABLEAU XXIV

ANKABOKA

Station aval

Débits journaliers en m³/s

Année 1959-1960

: Jours :	: Novembre :		: Décembre :		: Janvier :		: Février :		: Mars :		: Avril :	
	: Q _m :	: Q _M :	: Q _m :	: Q _M :	: Q _m :	: Q _M :	: Q _m :	: Q _M :	: Q _m :	: Q _M :	: Q _m :	: Q _M :
: 1 :	: 0,005 :		: 0,005 :		: 0,015 :		: 0,163 :		: 0,008 :			
: 2 :	: 0,005 :		: 0,005 :		: 0,285 :	3,35	: 0,140 :		: 0,087 :	0,94		
: 3 :	: 0,005 :		: 0,376 :	6,50	: 0,018 :	0,09	: 0,130 :		: 0,026 :			
: 4 :	: 0,005 :		: 0,020 :		: 1,59 :	24,2	: 0,122 :		: 2,15 :	29		
: 5 :	: 0,005 :		: 0,020 :		: 0,527 :	1,08	: 0,115 :		: 0,15 :			
: 6 :	: 0,005 :		: 0,018 :		: 0,177 :		: 0,113 :		: 0,434 :	4,04		
: 7 :	: 0,005 :		: 0,018 :		: 0,123 :	0,28	: 0,105 :	0,23	: 0,08 :			
: 8 :	: 0,005 :		: 0,017 :		: 0,030 :		: 0,051 :		: 0,04 :			
: 9 :	: 0,005 :		: 0,017 :		: 0,130 :	0,870	: 0,032 :		: 0,146 :	0,96		
: 10 :	: 0,005 :		: 0,016 :		: 0,030 :		: 0,021 :		: 0,045 :			
: 11 :	: 0,005 :		: 0,015 :		: 1,91 :	38,4	: 0,011 :		: 0,025 :			
: 12 :	: 0,005 :		: 0,015 :		: 0,709 :	5,95	: 0,005 :		: 0,020 :			
: 13 :	: 0,005 :		: 0,434 :	6,95	: 0,438 :	1,51	: 0,005 :		: 0,015 :			
: 14 :	: 0,005 :		: 0,015 :		: 0,696 :	5,00	: 0,52 :	3,94	: 0,013 :			
: 15 :	: 0,005 :		: 0,240 :	3,65	: 0,786 :	5,4	: 0,354 :	2,44	: 0,013 :		?	
: 16 :	: 0,005 :		: 0,036 :	0,33	: 0,355 :		: 0,222 :		: 0,012 :			
: 17 :	: 0,005 :		: 0,020 :		: 0,044 :		: 0,106 :		: 0,011 :			
: 18 :	: 0,005 :		: 0,018 :		: 0,015 :		: 0,005 :		: 0,011 :		?	
: 19 :	: 0,005 :		: 0,016 :		: 0,829 :	15,6	: 0,130 :	0,48	: 0,010 :			
: 20 :	: 0,005 :		: 0,016 :		: 0,231 :		: 0,036 :		: 0,036 :	0,90		
: 21 :	: 1,27 :	21,4	: 0,015 :		: 0,124 :	0,74	: 0,10 :	0,8	: 0,212 :			
: 22 :	: 0,110 :		: 0,015 :		: 0,124 :		: 0,193 :	1,12	: 0,245 :	2,02		
: 23 :	: 0,315 :	5,45	: 0,015 :		: 0,382 :	2,36	: 0,246 :		: 0,224 :	0,47		
: 24 :	: 0,031 :		: 0,015 :		: 0,703 :	2,14	: 0,506 :	9,2	: 0,121 :	0,29		
: 25 :	: 0,020 :		: 0,015 :		: 0,41 :		: 0,504 :		: 0,123 :	0,56		
: 26 :	: 0,017 :		: 0,015 :		: 0,266 :		: 0,118 :		: 0,050 :			
: 27 :	: 0,015 :		: 0,015 :		: 1,30 :	15,6	: 0,043 :		: 0,030 :			
: 28 :	: 0,012 :		: 0,015 :		: 0,453 :	2,68	: 0,010 :		: 0,025 :			
: 29 :	: 0,009 :		: 0,015 :		: 0,819 :	6,8	: 0,009 :		: 0,020 :			
: 30 :	: 0,007 :		: 0,015 :		: 0,431 :				: 0,020 :			
: 31 :			: 0,015 :		: 0,200 :				: 0,020 :			
: Moy. mens. :	: 0,063 :		: 0,048 :		: 0,456 :		: 0,144 :		: 0,142 :		(0,015)	

Mai (0,013), Juin (0,011), Juillet (0,010)

Module : 0,077 m³/s

Août (0,009), Septembre (0,008), Octobre (0,007)

Q_m : Débit moyen journalier

Q_M : Débit maximal ou pointe de crue

TABLEAU XXV

ANKABOKA

Station aval

Débits journaliers en m³/s

Année 1960-1961

Jours	Novembre		Décembre		Janvier		Février		Mars		Avril	
	Q _m	Q _M	Q _m	Q _M	Q _m	Q _M	Q _m	Q _M	Q _m	Q _M	Q _m	Q _M
1			0,005		0,010		0,075		0,05		0,030	
2			(0,95) 16,2		0,010		0,030		0,035		0,025	
3			0,464		0,192	1,90	0,010		0,01		0,020	
4			0,080		1,04	18,0	0,010		0,075	0,21	0,015	
5			0,050		0,505	1,48	0,010		0,173	0,47	0,056	0,53
6			0,030		0,659	3,77	0,010		0,098		0,020	
7			0,020		1,20	18,6	0,010		0,077		0,020	
8			0,015		0,474		0,010		0,314	1,33	0,015	
9			0,010		0,555	4,6	0,044	0,12	0,111		0,015	
10			0,704		0,180	1,40	0,015		0,095		0,164	1,49
11			1,27	36,0	0,149		0,010		0,08		0,050	
12			0,312	2,08	0,066		0,010		0,075		0,390	4,2
13			0,020		0,035		0,126	3,88	0,07		0,61	5,5
14			0,060	0,71	0,023		0,319	2,31	0,088	0,17	0,087	
15			0,020		0,014		0,084	0,51	0,040		0,105	1,08
16			0,018		0,010		0,095		1,57	26,4	0,362	1,73
17			0,015		0,010		0,050		1,25	10,6	2,68	40,2
18			0,015	0,17	0,010		0,030		1,99	27,0	0,200	
19			0,005		0,010		0,015		0,150		0,130	
20			0,097	1,45	0,010		0,010		0,89	6,44	0,100	
21			0,703	11,0	0,010		0,010		0,14		0,075	
22			0,050		0,010		0,010		0,05		0,050	
23			0,020		0,079	1,93	0,010		1,31	27,9	0,030	
24			0,018		0,028		0,529	6,2	0,459		0,025	
25			0,016		0,796	8,4	0,114		0,23		0,025	
26			0,014		1,35	11,7	0,090		0,311	3,76	0,025	
27			0,012		0,22		0,070		0,170		0,020	
28			0,010		0,172	0,36	0,060		0,120		0,020	
29			0,476	6,96	0,111				0,090		0,020	
30			1,24	25,4	0,09				0,060		0,020	
31			0,169		0,102	0,32			0,045			
Moy. mens.	(0,006)		0,222		0,262		0,066		0,329		0,180	

Mai (0,015), Juin (0,012), Juillet (0,009)

Août (0,007), Septembre (0,006), Octobre (0,005)

Module : 0,094 m³/s

Q_m : Débit moyen journalier

Q_M : Débit maximal ou pointe de crue

TABLEAU XXVI

ANKABOKA

Station aval

Débits journaliers en m³/s

Année 1961-1962

Jours	Novembre		Décembre		Janvier		Février		Mars		Avril	
	Q _m	Q _M	Q _m	Q _M	Q _m	Q _M	Q _m	Q _M	Q _m	Q _M	Q _m	Q _M
1					0,675	15,3	0,523	7,1			1,82	32,7
2					0,555		0,80	3,44			0,055	
3					0,259	0,52	0,33	0,38			0,158	2,44
4					0,189	0,54	0,234	0,65			0,230	1,05
5					0,11		0,20				0,050	
6				?	2,72	35,6	0,10					
7					0,17		0,07					
8					0,104		0,04					
9					1,94	34,2						
10					(0,393)	(2,08)						
11					1,44	26,8						
12					0,58	2,36						
13					0,172							
14					0,085							
15					0,181	1,12						
16					0,050		0,105					
17					0,065	0,21	0,050					
18					1,09	12,4	0,030					
19					0,52	1,83	0,020					
20					0,11		0,709	4,1				
21					2,59	20,2	1,13	2,68				
22					0,49		0,46					
23					0,39		0,30					
24					0,35	0,56	3,91	72,0			0,336	7,8
25					0,94	11,1	3,22	26,0			0,09	
26					0,67		0,634				0,241	5,4
27					0,40		0,17				0,140	
28					1,57	28,1	0,10				0,77	12,9
29					0,44		0,325	5,5			0,45	1,55
30					0,605	6,7	0,172	1,96			0,24	
31					0,478	1,35	0,217	0,21			0,17	
Moy. mens.					0,704							

Q_m : Débit moyen journalier

Q_M : Débit maximal ou pointe de crue

Année	Station amont		Station aval	
	Module m ³ /s	Module spécifique l/s.km ²	Module m ³ /s	Module spécifique l/s.km ²
1959-60	0,038	23,2	0,077	18,9
1960-61	0,038	23,2	0,094	23,0

Rappelons que les modules spécifiques de la BETSIBOKA à AMBODIROKA (11 800 km²) avaient pour valeur :

en 1959-60 : 20,5 l/s.km²

en 1960-61 : 18,2 l/s.km²

alors que l'ISINKO (600 km²) affichait des volumes nettement plus forts :

en 1959-60 : 32,0 l/s.km²

en 1960-61 : 26,2 l/s.km²

Pour l'IKOPA, on trouvait à FIADANANA des valeurs du même ordre que celles de la BETSIBOKA, alors qu'à ANTSATRANA, ces valeurs sont un peu plus fortes, sans atteindre toutefois celles de l'ISINKO.

CHAPITRE VI

TRANSPORTS SOLIDES

I - GENERALITES -

Le débit solide d'un cours d'eau peut, suivant le mode de déplacement des matériaux, être divisé en "transport en suspension" et "charriage de fond".

Dans le "transport en suspension", les matériaux sont maintenus au sein de la masse liquide par les composantes ascendantes de l'écoulement turbulent.

Le "charriage de fond" est constitué par les particules les plus grosses qui, ne pouvant être soulevées par le courant, roulent ou glissent sur le fond. Occasionnellement, elles peuvent avancer par bonds ; il s'agit alors d'un mode de transport intermédiaire désigné sous le vocable "saltation".

Si l'on considère, non pas le mode de déplacement mais l'origine immédiate des matériaux, on peut distinguer dans le débit solide d'un cours d'eau d'une part, la "charge de ruissellement" et, d'autre part, la "charge en matériaux du fond". Il est évident que l'origine première de tous les matériaux doit être recherchée dans l'érosion du bassin versant.

La charge de ruissellement est constituée par les particules les plus fines qui sont entraînées de façon continue, elles constituent une part importante du débit solide total. On peut très généralement l'assimiler au "transport en suspension". La "charge en matériaux de fond" est au contraire constituée par des particules plus grossières ne représentant qu'une faible partie du débit solide ; dans la grande majorité des cas, elle peut être confondue avec le charriage de fond.

La charge de ruissellement dépend essentiellement des conditions dans lesquelles s'effectue l'érosion du bassin versant à un moment donné et, pour des bassins voisins, cette charge peut varier dans de grandes proportions.

Le but des mesures de turbidité est de déterminer la valeur des charges de ruissellement ou des transports en suspension.

Pour être précises, ces mesures devront être effectuées dans le sein de l'écoulement, de la surface jusqu'à une vingtaine de centimètres du fond. Mais cela demande un matériel lourd et de mise en oeuvre assez difficile, surtout sur les rivières à très fort courant.

Un ordre de grandeur de la turbidité est obtenu facilement par des prélèvements en surface. C'est ce que nous avons réalisé sur la BETSIBOKA et l'IKOPA.

II - MODE OPERATOIRE -

Des prélèvements d'eau en vue de la détermination de la turbidité ont été effectués sur la BETSIBOKA, l'ISINKO et l'IKOPA en 1955-56, puis en 1960-61.

La méthode utilisée le plus souvent a été la suivante :

On prélevait en surface 10 ou 20 litres d'eau avec un seau, en différents points de la section ou en un point précis, toujours le même, à partir du pont de la BETSIBOKA. Cette eau, mise en dame-jeanne, était ensuite flocculée avec de l'acide chlorhydrique et décantée. Le trouble recueilli était ensuite analysé par le laboratoire de l'I.R.S.M.

En 1955-56, quelques prélèvements ont été faits à l'aide de bouteilles immergées.

Les résultats sont donnés dans les tableaux suivants :

III - TURBIDITE -

1) Mesures effectuées en 1955-56

BETSIBOKA à AMBODIROKA

Date	Turbidité en g/m ³	Débit m ³ /s	Analyse des dépôts (%)			
			Argile	Limon	Sable fin	Sable grossier
2-3-55	2 584 2 626 4 187	1 400				
4-3-55	908 835 1 126	460 525				
15-2-56	1 506	486	26,65	29,68	33,72	8,04
16-2-56	1 010	419	19,6	28,15	50,7	1,3

IKOPA à AMPOTAKA

Date	Turbidité en g/m ³	Débit m ³ /s	Analyse des dépôts (%)			
			Argile	Limon	Sable fin	Sable grossier
11-3-55	357 341	1 755				
20-2-56	217	730				
22-2-56	161	745	34,7	30,6	27,0	traces
23-2-56	107 153	573 593	34,55 34,02	20,3 32,13	41,55 26,37	3,5 6,3

2) Mesures effectuées en 1960-61

a) BETSIBOKA à AMBODIROKA

- Mesures effectuées en prélevant de 5 à 7 échantillons en surface sur toute la largeur de la section (1960) -

Date	Turbidité en g/m ³	Turbidité moyenne en g/m ³	Débit m ³ /s	Analyse des dépôts (%)			
				Argile	Limon	Sable fin	Sable gros
25-1-60	2 980	2 681	1 350	40,1	27,3	31,2	0,7
	2 010			23,2	50,2	25,0	1,2
	2 450			53,7	28,1	16,9	1,0
	3 180			21,6	51,3	24,5	2,0
	2 510			41,7	28,9	28,0	1,3
	1 830			43,3	24,1	30,8	1,0
3 810	40,9	24,0	33,6	0,9			
5-3-60	2 390	2 800	1 633	16,0	44,9	37,4	0,9
	1 340			20,8	45,0	31,1	2,1
	3 040			15,2	36,1	44,5	3,5
	3 580			29,7	15,2	39,6	15,0
	3 650			30,5	12,8	52,0	3,9
9-3-60	2 650	1 652	307	10,4	25,7	59,3	3,9
	1 290			35,3	24,1	39,0	0,8
	1 050			41,7	37,0	20,7	0
	1 470			12,8	36,9	37,4	12,1
	1 820			20,8	24,1	36,2	18,4
12-3-60	1 000	906	226	46,5	28,9	23,9	0
	930			41,7	41,7	13,9	2,1
	1 000			36,9	32,1	27,0	3,4
	800			41,7	48,1	8,75	0,75
	800			57,7	32,1	6,80	2,7
22-3-60	1 700	1 622	356	32,1	17,6	36,6	13,1
	1 400			33,7	4,8	48,5	9,0
	1 280			20,9	40,1	34,0	4,3
	1 050			46,6	33,7	18,4	0,7
	1 006			49,1	20,9	21,3	7,9
24-3-60	790	868	441	44,9	38,6	13,5	2,1
	990			29,5	31,5	27,3	11,2
	800			28,9	44,9	10,6	14,8
	740			35,3	28,9	29,5	5,4
	1 020			28,9	28,9	29,5	10,2

Date	Turbidité		Débit m ³ /s	Analyse des dépôts (%)			
	en g/m ³	moyenne en g/m ³		Argile	Limon	Sable fin	Sable gros
25-3-60	1 530	1 466	773	36,9	32,9	21,8	8,5
	1 740			32,1	26,9	28,7	1,75
	1 170			46,6	24,0	27,9	0,9
	1 000			25,7	44,9	26,4	2,1
	1 890			38,5	15,9	41,7	3,2
28-3-60	3 590	3 574	608	19,2	52,4	25,9	1,8
	4 110			35,0	36,8	26,65	0,95
	3 750			39,3	24,9	34,9	0,4
	3 570			19,3	54,5	54,2	4,8
	2 850			18,4	54,2	26,5	4,0

- Mesures effectuées en un point à partir du pont de
la BETSIBOKA (1961) -

Date	Turbidité		Débit m ³ /s	Analyse des dépôts (%)			
	en g/m ³			Argile	Limon	Sable fin	Sable gros
1-1-61	2 400		611	60,6	37,8	1,1	0
6-1-61	11 400		1 509	32,9	24,1	28,7	13,5
7-1-61	2 800		1 475	51	33	15	0,3
9-1-61	5 700		1 390	44	34,8	20,1	0,2
12-1-61	5 100		455	50,1	39,9	10,1	0
13-1-61	3 200		385	41,3	34,7	23,3	0
14-1-61	7 300		294	36,9	37,1	24,9	0,5
16-1-61	1 400		240	24,8	30,2	38	6,5
17-1-61	900		345	38	38,8	23	0
19-1-61	1 800		240	64,1	33,9	0	1,6
25-1-61	4 800		935	51	36,6	10,9	0,6
26-1-61	3 700		715	46,6	24	28,9	0
27-1-61	5 700		532	45,1	16,1	34,9	2,8
28-1-61	4 900		594	40,6	21,4	36,9	0,3

Date	Turbidité en g/m ³	Débit m ³ /s	Analyse des dépôts (%)			
			Argile	Limon	Sable fin	Sable gros.
17-2-61	4 100	492	58,6	29,4	11,1	0
18-2-61	3 700	820	29,7	16,7	44,7	8,0
6-3-61	5 500	715	46,8	28,4	23,7	0,4
7-3-61	4 100	280	43,6	42,4	12,1	0,8
8-3-61	1 900	1 662	57,8	22,5	19,1	0
8-3-61	2 900	575	50,5	29,8	19,4	0
9-3-61	5 400	492	46,3	34,1	18,3	0
11-3-61	2 300	303	52,5	28,6	18	0
13-3-61	3 700	455	44,2	19,6	35	0,7
14-3-61	4 900	799	38,2	29,8	31,1	0
15-3-61	2 100	328	48,9	33,5	16,7	0,5
16-3-61	4 900	620	42,9	35,1	20,1	0,7
17-3-61	3 200	1 220	45	40,2	13,7	0
18-3-61	3 600	1 070	40,1	18,5	40,7	0
19-3-61	1 200	620	59,4	19,3	19,4	0,7
20-3-61	4 500	620	37,6	32,8	28,1	1
21-3-61	6 200	532	18	3,2	77,2	0
23-3-61	6 300	355	18,7	14,1	47,6	18,7
24-3-61	2 700	328	56,8	33,1	9,9	0
25-3-61	3 100	260	40,8	39,6	17,7	1
12-4-61	2 000	532	44,2	17,6	36,1	1,3
13-4-61	3 500	667	44,5	20	33,9	0,5
14-4-61	5 500	318	27,2	18,8	44,6	8,5
16-4-61	2 900	677	39,3	11,7	47,9	0,8
17-4-61	5 700	935	34,2	22,3	38	3,7
19-4-61	5 100	935	22	44	32,3	0,6

- Mesures effectuées dans la section par prélèvement en un point ou en plusieurs points (1961) -

Date	dis- tan- ce	Turbidité en g/m ³	Turbidité moyenne en g/m ³	Débit m ³ /s	Analyse des dépôts (%)			
					Argile	Limon	Sable fin	Sable gros.
1-1-61	R.G.	5 090	-	935	34,6	27,6	37,6	0,2
3-1-61	R.G.	2 900	-	935	59,1	35,3	19,6	3,2
5-1-61	R.G.	1 800	-	1 867	61,2	33,2	5	0
6-1-61	R.G.	4 500	-	1 190	44,8	29,2	25,1	0

Date	Dis- tan- ce	Turbidité		Débit m ³ /s	Analyse des dépôts (%)			
		en g/m ³	moyenne en g/m ³		Argile	Limon	Sable fin	Sable gros
9-1-61	R.G.	6 300	-	1 867	48,3	34,9	16	0
12-1-61	180	3 400	{	420	56,7	46,7	1	0
	140	5 700			40,7	41,3	17,3	0,1
	100	3 600			56,9	37,5	4,7	0
	60	5 000			37,2	36,8	24,3	1
	20	6 700			44,6	32,6	21,9	0
13-1-61	R.G.	1 500	-	418	50,4	42,4	6,1	0
17-1-61	180	1 100	{	455	44,3	36,2	17,9	1,1
	140	1 400			35,3	25,7	38,2	0
	100	1 800			36,9	22,5	39,6	0
	60	2 300			28,1	26,5	43,4	0,5
	20	2 800			28,1	15,4	53,1	2,5
13-3-61	180	2 500	{	455	36	28,4	33,1	1,2
	140	1 800			64	24	11,4	0
	100	3 200			40,9	18,1	39,2	0,6
	60	2 800			44,4	21,6	33,9	0,6
	20	2 700			44	40,4	14,9	0,5

b) IKOPA à ANTSATRANA

En Mars et Avril 1961, on a effectué une série de prélèvements au droit de l'échelle. Les résultats suivants ont été obtenus :

Date	Turbidité en g/m ³	Débit m ³ /s	Analyse des dépôts (%)			
			Argile	Limon	Sable fin	Sable gros
3-3-61	280	248	46,35	43,2	8,7	1,0
4-3-61	960	297	48,75	41,55	9,4	0,8
5-3-61	280	524	48,75	32,75	17	0,5
6-3-61	680	634	48,55	34,95	14,3	2,3
7-3-61	890	465	48	31,05	19,8	0
8-3-61	630	370	44,65	30,60	24	0
9-3-61	460	460	44,15	36,85	18,7	0
10-3-61	350	470	44	35,6	18,95	0,7
11-3-61	610	438	56,25	22	20,7	0
12-3-61	580	514	48,75	35,65	14,3	0

Date	Turbidité en g/m ³	Débit m ³ /s	Analyse des dépôts (%)			
			Argile	Limon	Sable fin	Sable gros.
13-3-61	930	735	50,65	30,35	17,95	0
14-3-61	870	814	48	31,45	20	0
25-3-61	2 200	850	52,3	23,2	23	0
26-3-61	530	735	54,55	28,55	14,7	0
27-3-61	100	656	58,55	28,7	11,5	0
28-3-61	100	579	48,4	18,8	32	0,9
1-4-61	110	449	39,9	40,7	17,75	0,6
2-4-61	470	606	50,25	25,25	24,15	0
3-4-61	620	460	47,95	27,25	21,7	2,3
4-4-61	330	508	40	39,9	19,55	1,6
6-4-61	220	432	49,5	23,1	26,2	0,5
7-4-61	210	395	41,35	42,05	15,7	0
8-4-61	410	375	44	28,2	27,1	0

c) ISINKO à AMBODIROKA

Deux prélèvements ont été effectués au droit de la station téléphérique, on a obtenu :

Date	Turbidité en g/m ³	Débit m ³ /s	Analyse des dépôts (%)			
			Argile	Limon	Sable fin	Sable gros.
11-1-61	900	18	37,2	39,5	22,3	0,5
17-4-61	120	112	34,7	47	17,5	0

Les valeurs des débits indiqués sur les tableaux sont celles correspondant à la hauteur au moment des prélèvements. Elles ne sont pas toujours égales aux débits moyens journaliers.

Nous constatons que, sur la BETSIBOKA, les turbidités sont toujours très fortes et toujours supérieures à 1 kg/m^3 . La mesure du 6-1-61 a donné 11 kg/m^3 . Ce chiffre élevé et unique dans la série de mesures ne doit pas être impossible. Le prélèvement a été effectué pendant une crue assez forte ($1\ 870 \text{ m}^3/\text{s}$).

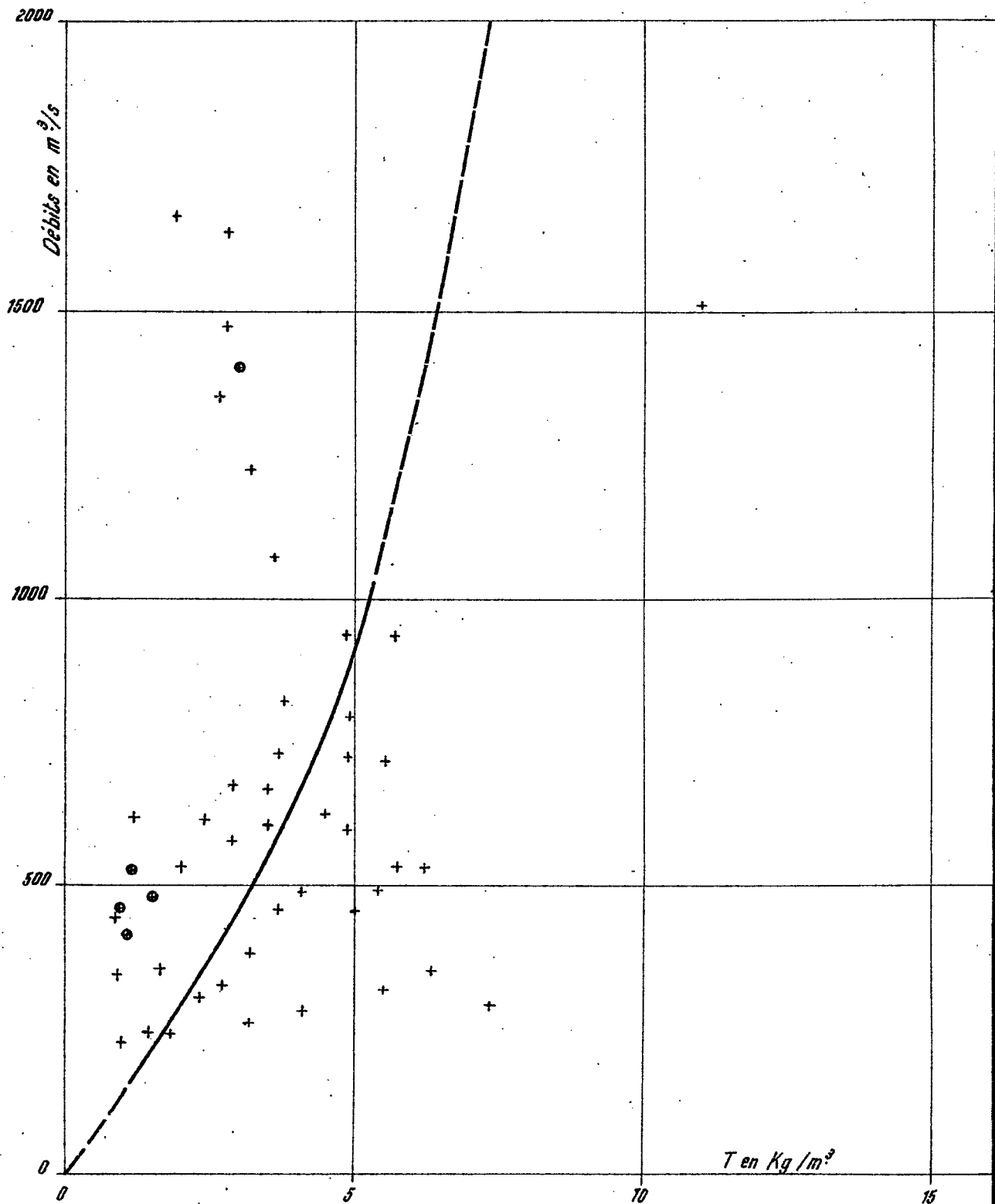
Les transports solides sur l'IKOPA sont beaucoup plus faibles. Les valeurs mesurées n'atteignent jamais 1 kg/m^3 ; une seule mesure, le 25 Mars 1961, a donné $2,2 \text{ kg/m}^3$.

Nous avons porté sur un graphique les valeurs de la turbidité en fonction du débit. Nous obtenons pour la BETSIBOKA un nuage de points. Nous avons essayé de tracer une courbe moyenne. Il en est de même pour l'IKOPA à ANTS/ATRANA (graphiques 27 et 28).

Ces courbes montrent que la "charge de ruissellement" ne présente pas de relation bien définie avec le débit liquide. A débit égal, elle doit être plus élevée au début qu'en fin de crue. Les mesures que nous avons effectuées ne permettent pas de vérifier avec précision ces hypothèses. Il aurait fallu un nombre plus important de prélèvements. Un essai de report des mesures que nous avons sur le diagramme des débits journaliers n'a pas donné de bons résultats.

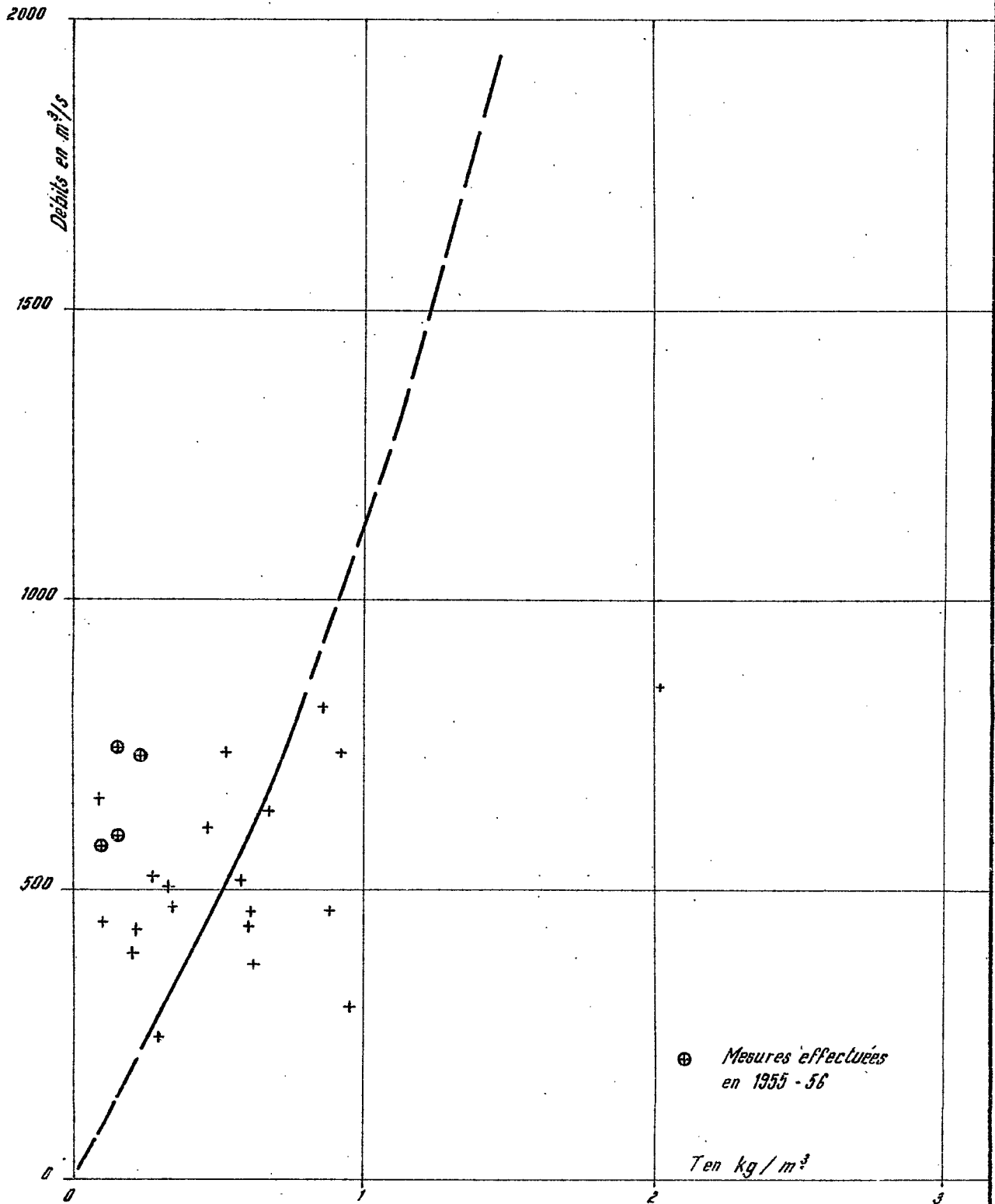
A l'aide de ces courbes, nous avons cependant essayé de déterminer, à partir des modules annuels des deux rivières, les quantités de sol emportées par l'érosion. Cette méthode est évidemment très approchée. Il aurait fallu pouvoir déterminer la valeur de la turbidité pendant chaque crue ou la turbidité moyenne journalière. L'imprécision de la courbe obtenue et son allure presque rectiligne nous permettent d'opérer à partir des débits moyens annuels.

VARIATION DE LA TURBIDITÉ DES EAUX DE LA BETSIBOKA EN FONCTION DU DÉBIT A AMBODIROKA



© Mesures effectués en 1955-56

VARIATION DE LA TURBIDITÉ DES EAUX DE L'IKOPA EN FONCTION DU DÉBIT A ANTSATRANA



⊕ Mesures effectuées en 1955 - 56

Ten kg/m^3

Nous obtenons les résultats suivants :

Année	IKOPA à ANTSATRANA			BETSIBOKA à AMBODIROKA		
	Turbidité	Quantité de terre		Turbidité	Quantité de terre	
	moyenne annuelle kg/m ³	enlevée sur le bassin Tonnes/an	enlevée sur le bassin Tonnes/an/km ²	moyenne annuelle kg/m ³	enlevée sur le bassin Tonnes/an	enlevée sur le bassin Tonnes/an /km ²
1948-49	0,410	5,1.10 ⁶	274			
1949-50	0,390	4,6.10 ⁶	248			
1950-51	0,450	6,1.10 ⁶	329			
1951-52	0,530	8,6.10 ⁶	464			
1952-53	0,550	9,3.10 ⁶	501			
1953-54	0,490	7,4.10 ⁶	399			
1954-55	0,470	6,8.10 ⁶	366			
1955-56	0,410	5,0.10 ⁶	269			
1956-57	0,470	6,9.10 ⁶	372			
1957-58	0,430	5,5.10 ⁶	296	2,0	18.10 ⁶	1 525
1958-59	0,540	8,9.10 ⁶	480	2,8	39.10 ⁶	3 305
1959-60	0,430	5,6.10 ⁶	302	1,6	12.10 ⁶	1 017
1960-61	0,370	4,2.10 ⁶	226	1,5	10.10 ⁶	847
1961-62	0,570	9,9.10 ⁶	533	2,0	19.10 ⁶	1 610
			361			1 660

L'érosion moyenne annuelle sur les périodes considérées s'établit donc à 361 tonnes par km² ou 3,6 tonnes/Ha pour l'IKOPA et 1 660 tonnes par km² ou 16,6 tonnes/Ha pour la BETSIBOKA.

Ces chiffres correspondent, en admettant une densité de la terre égale à $1,5 \text{ tonne/m}^3$, à une érosion moyenne annuelle de $0,24 \text{ mm}$ répartie sur le bassin de l'IKOPA et de $1,1 \text{ mm}$ sur le bassin de la BETSIBOKA.

Nous retrouvons, pour le bassin de l'IKOPA, une érosion du même ordre que celle trouvée par BRESSON sur le bassin du MANGOKY.

Ces chiffres ne sont que des ordres de grandeur et ne donnent qu'une valeur approchée par défaut des quantités de terre transportées car, d'une part, les prélèvements n'ont été effectués qu'en surface et, d'autre part, dans le calcul, n'interviennent que les matières fines transportées en suspension, les transports sur le fond n'étant pas mesurés. Ils montrent malgré tout que l'érosion est plus grande sur le bassin de la BETSIBOKA, environ quatre fois plus que sur l'IKOPA.

Nous avons déjà signalé ce phénomène lorsque nous avons examiné la géologie des deux bassins.

Au point de vue granulométrie, nous n'avons, aussi bien sur l'IKOPA que sur la BETSIBOKA, que très peu de sable grossier (0 à $2,5 \%$). Les mesures pour lesquelles la proportion est plus grande ont dû être, accidentellement, faites plus près du fond.

Sur la BETSIBOKA, nous notons une proportion plus forte de sable fin que sur l'IKOPA. Cette proportion dépasse couramment 30% alors qu'elle n'atteint que très rarement 25% sur l'IKOPA. Ce fait est confirmé par la difficulté que nous rencontrons pour les mesures de débit. Le moulinet est beaucoup plus souvent ensablé sur la BETSIBOKA et après deux années d'utilisation, les gaines d'hélice présentent des usures énormes, supérieures à 1 mm .

Les proportions de limon et d'argile sont sensiblement les mêmes sur les deux rivières : 30 à 40% avec toutefois, sur l'IKOPA, une quantité d'argile légèrement plus forte que sur la BETSIBOKA.

3) Analyse chimique des eaux

Des prélèvements d'eau naturelle ont permis de connaître, après analyse au laboratoire de l'I.R.S.M., la composition chimique des eaux de l'IKOPA et de la BETSIBOKA.

Nous avons obtenu les résultats moyens suivants :

	BETSIBOKA à AMBODIROKA	IKOPA à ANTSATRANA
P _H	6,7	6,8
Conductibilité (millimhos)	30	33
Cl (mg/l)	2,8	2,3
SO ₃ (mg/l)	0,09	0
SiO ₂ (mg/l)	13	14
Fe ₂ O ₃ (mg/l)	3,5	0
Al ₂ O ₃ (mg/l)	0,2	0,2
CaO (mg/l)	1,5	1,2
MgO (mg/l)	4,7	4,1
K ₂ O (mg/l)	2,2	3,7
Na ₂ O (mg/l)	3,5	1,4

Ce tableau montre que les eaux des deux rivières sont sensiblement identiques du point de vue composition chimique ; seuls, les oxydes de fer se trouvent en plus grande quantité dans les eaux de la BETSIBOKA (3,5 mg/l contre 0). Ceci pourrait s'expliquer d'une part, d'après RIQUIER, par la présence dans le bassin d'une plus grande quantité de marais et de sols hydromorphes et, d'autre part, par le fait que la plus grande partie du bassin se trouve sur les roches très riches en oxydes de fer et dont les produits d'altération sont très facilement lessivés par l'érosion.

IV - GRANULOMETRIE du SABLE -

Des prélèvements sur les bancs de sable et sur le fond de la rivière en crue ont été effectués sur la BETSIBOKA et l'ISINKO.

Les graphiques 29 et 30 donnent l'allure de la granulométrie du sable.

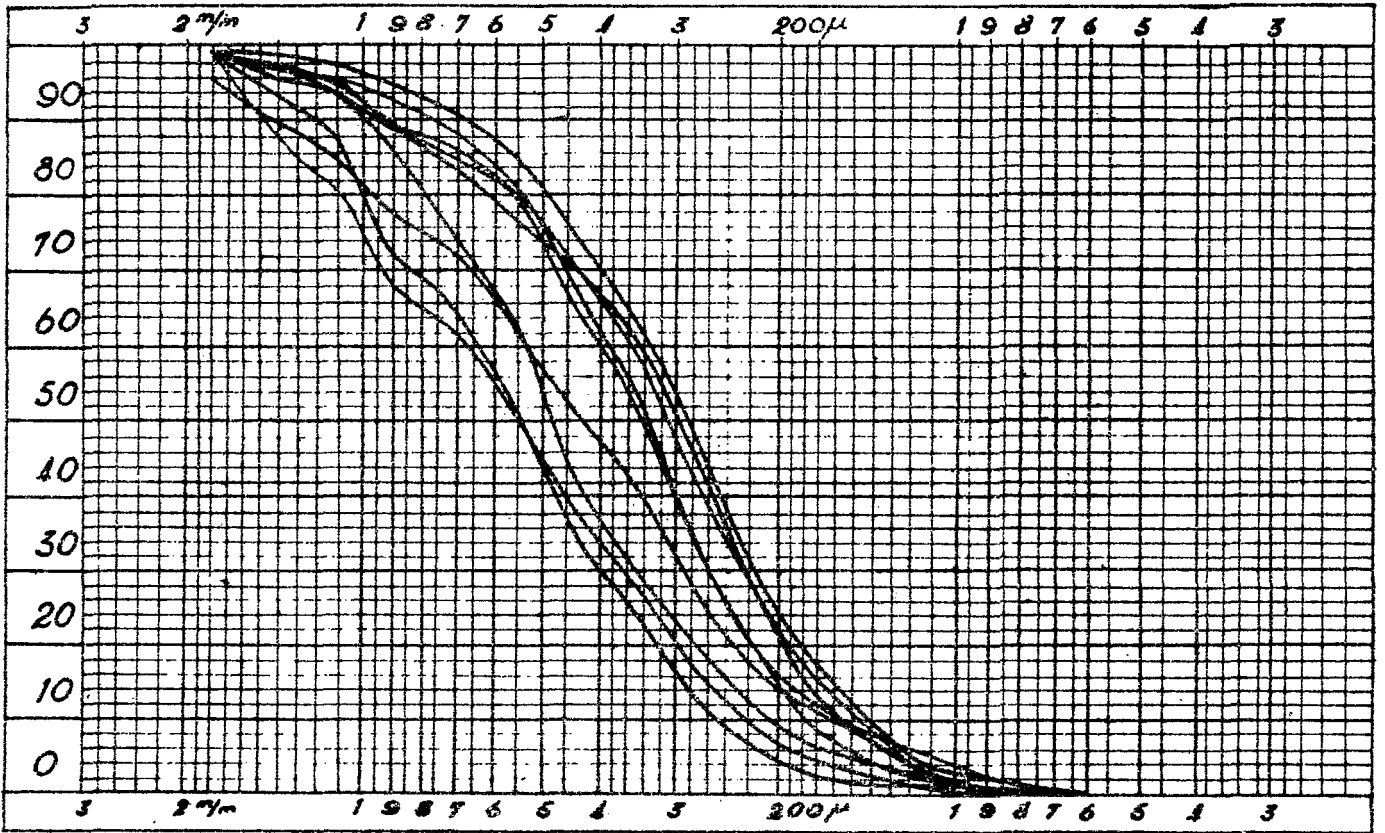
Les valeurs des diamètres caractéristiques, d.10, d.50, d.90 ou dimensions des mailles des tamis retenant respectivement 10, 50 et 90 % des échantillons, sont les suivants :

Diamètre caractéristique:	BETSIBOKA	ISINKO
d.10	150 à 250 μ	90 à 120 μ
d.50	280 à 550 μ	220 à 360 μ
d.90	700 μ à 1,5 mm	420 μ à 1 mm

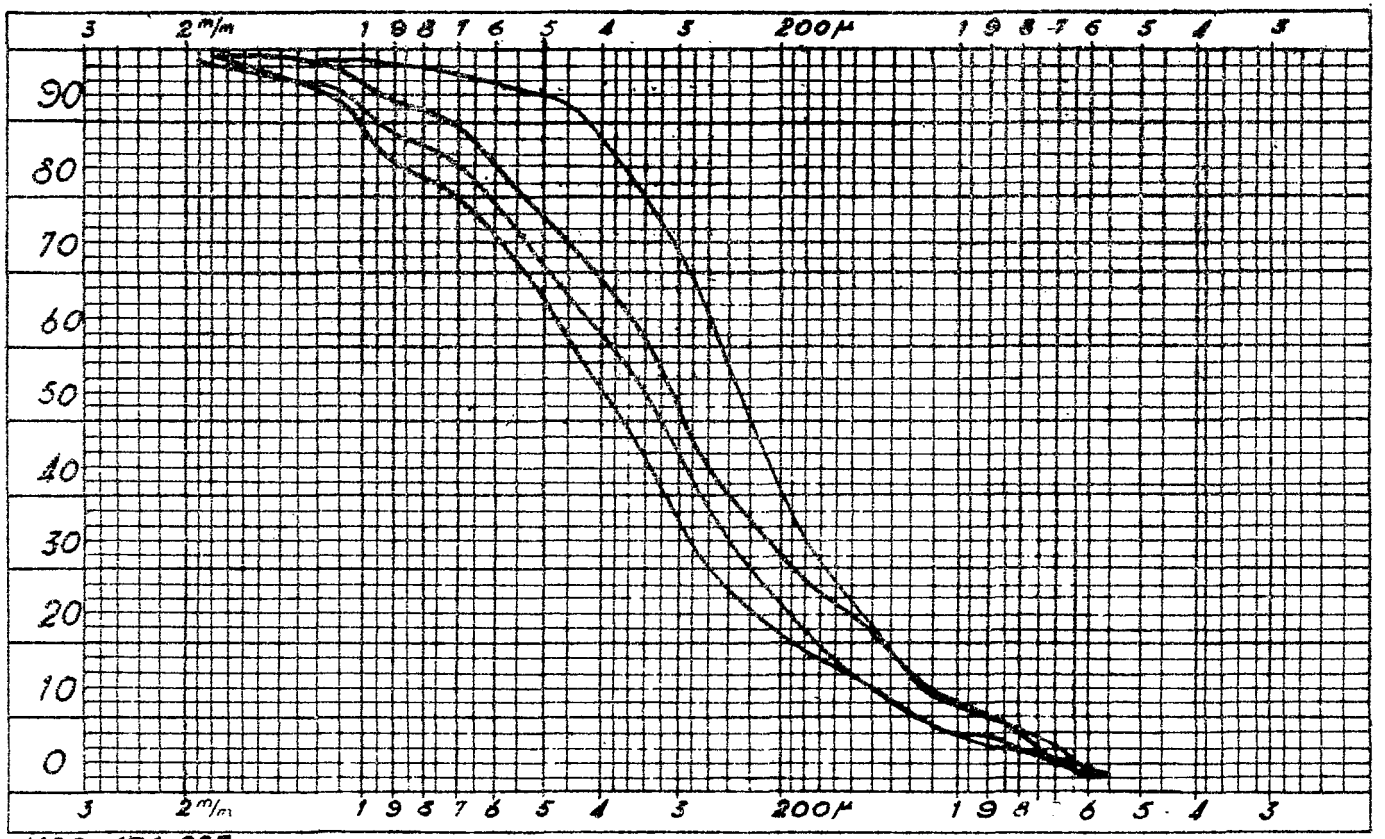
Il n'y a jamais de grains supérieurs à 2 mm.

BETSIBOKA

Gr. 29



ISINKO



CHAPITRE VII

CARACTERISTIQUES du REGIME

Les tableaux ci-après rassemblent les principales caractéristiques hydrologiques relatives aux bassins étudiés dans la présente monographie.

Les parenthèses indiquent de larges approximations et les doubles parenthèses des ordres de grandeur.

Cours d'eau : IKOPA
 Station : FIADANANA
 Superficie du bassin : 9 450 km²

<u>Pluviométrie moyenne</u> (période 1939-1962)	1 430 mm	
	Valeurs absolues m ³ /s	Valeurs spécifiques l/s.km ²
<u>Module moyen</u> (période étendue)	170	1,80
<u>Coefficient de variation</u>		0,25
<u>Rapport K₃</u>		1,95
<u>Crues</u> maximum observé	1 380	146
<u>Etiages</u> débit le plus faible observé	23,6	2,50
<u>Coefficient de tarissement</u>		0,014

DEBITS MOYENS MENSUELS pour la PERIODE d'OBSERVATIONS (4 ans)

:	N	:	D	:	J	:	F	:	M	:	A	:	M	:	J	:	J	:	A	:	S	:	O	:
:	77	:	314	:	430	:	282	:	495	:	325	:	135	:	95	:	78	:	64	:	47	:	40	:

Cours d'eau : IKOPA
 Station : ANTSATRANA
 Superficie du bassin : 18 550 km²

Pluviométrie moyenne 1 580 mm
 (période 1939-1962)

Valeurs absolues Valeurs spécifiques
 m³/s l/s.km²

Module moyen 450 2,43
 (période étendue)

Coefficient de variation 0,178

Rapport K₃ 1,58

Crues

maximum observé	2 770	150
crue médiane	2 500	135
crue décennale	((5 000))	((270))
crue centenaire	((8 000))	((430))

Etiages

valeur médiane	87	4,70
valeur décennale	69	3,72
valeur centenaire	(56)	(3,02)

Coefficient de tarissement 0,0063

DEBITS MOYENS MENSUELS pour la PERIODE d'OBSERVATIONS

```

=====
: N : D : J : F : M : A : M : J : J : A : S : O :
:---:---:---:---:---:---:---:---:---:---:---:---:
: 195: 595: 898: 876:1086: 514: 298: 218: 181: 148: 112: 105:
=====
    
```

DEBITS MOYENS MENSUELS pour la PERIODE ETENDUE

```

=====
: N : D : J : F : M : A : M : J : J : A : S : O :
:---:---:---:---:---:---:---:---:---:---:---:---:
: 217: 551: 935:1057:1091: 555: 296: 215: 177: 146: 112: 107:
=====
    
```

Cours d'eau : BETSIBOKA
 Station : AMBODIROKA
 Superficie du bassin : 11 800 km²

Pluviométrie moyenne 1 510 mm
 (période 1939-1962)

Valeurs absolues Valeurs spécifiques
 m³/s l/s.km²

Module moyen 300 2,54
 (période étendue)

Coefficient de variation 0,30

Rapport K₃ 2,25

Crues

maximum observé	(12 000)	(1 015)
crue médiane	3 500	296
crue décennale	((6 à 8 000))	((510 à 680))
crue centenaire	((12 à 15 000))	((1 015 à 1 270))

Etiages

valeur médiane	57	4,83
valeur décennale	44	3,73
valeur centenaire	(35)	(3,26)

Coefficient de tarissement 0,0063

DEBITS MOYENS MENSUELS pour la PERIODE d'OBSERVATIONS (5 ans)

```

=====
: N : D : J : F : M : A : M : J : J : A : S : O :
:---:---:---:---:---:---:---:---:---:---:---:---:
: 142: 431: 714: 518: 735: 334: 177: 143: 124: 104: 87 : 75 :
=====
    
```

IKOPA au Site de MAHAVOLA

Superficie du bassin 9 800 km²

<u>Pluviométrie moyenne</u>	1 450 mm	
	Valeurs absolues	Valeurs spécifiques
	<u>m³/s</u>	<u>l/s.km²</u>
<u>Module moyen</u>	175	1,80
<u>Coefficient de variation</u>		0,25
<u>Rapport K₃</u>		1,95
<u>Crues (1)</u>		
Crue médiane	1 300	130
Crue décennale	2 500	250
Crue centenaire	4 000	400
<u>Etiages (1)</u>		
Valeur médiane	39	4,0
Valeur décennale	27	2,8
Valeur centenaire	23	2,3
<u>Coefficient de tarissement</u>		0,014

(1) Ordres de grandeur.

Ces caractéristiques sont tirées des données hydrologiques recueillies à BEVOMANGA (4 237 km²), FIADANANA (9 450 km²) et ANTSATRANA (18 550 km²).